Postverlagsort Würzburg 2

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

BEGRÜNDET VON A. BERLINER UND C. THESING

UNTER BESONDERER MITWIRKUNG VON

ERICH v. HOLST

HERAUSGEGEBEN VON

ERNST LAMLA

BEIRAT:

J. BARTELS · E. BEDERKE · H. BROCKMANN · P. TEN BRUGGENCATE · C. W. CORRENS · H. v. FICKER
R. GRAMMEL · O. HAHN · R. HARDER · M. HARTMANN · W. HEISENBERG · K. HENKE · A. KÜHN
M. v. LAUE · H. MARTIUS · R. W. POHL · H. REIN (†)

ORGAN DER MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN
ORGAN DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

40. JAHRGANG **HEFT 11** (ERSTES JUNIHEFT) **1953**

INHALT:

Seite

AUFSÄTZE.

Modelle der Nervenerregung. Von K. F. BONHOEFFER 301

BERICHTE.

Ein medizinhistorischer Beitrag zur Faust-Interpretation. Von B. v. HAGEN 311

KURZE ORIGINALMITTEILUNGEN.

Ein Hilfsgerät zum Ausmessen von Oszillogrammen. Von H. LÜDTKE 313

Sur la possibilité d'un nouveau modèle statique de cosmologie. II. Von R. L. BRAHMACHARY 313

Kovolumeneffekt und Theorie starker konzentrierterer Elektrolyte in wäßrigen Lösungen. Von H. FALKENHAGEN und E. SCHMUTZER 314

Impulsbestrahlung von zusammengesetzten Photokathoden mit halbleitenden Zwischenschichten. Von W. KLUGE und S. WEBER 315

Zur Abnahme der Lumineszenz infolge von Elektronenbestrahlung. Von K. H. J. ROTTGARDT 315

Über Metallpotentiale. Von J. D'ANS, W. BRECKHEIMER und W. BARTSCH 316

Sur la corrosion des faces 111 de cristaux de chlorure d'argent. Von W. VAN DER VORST et W. DEKEYSER 316

Über Chromoxyde zwischen Cr_2O_3 und CrO_2. Von O. GLEMSER, U. HAUSCHILD und F. TRÜPEL 317

Über den 5-Hydroxytryptamin-(Enteramin-, Serotonin-) Gehalt des Serums und des Milzgewebes bei Wirbeltieren sowie der Hämolymphe bei Octopoden. Von V. ERSPAMER und R. FAUSTINI 317

Über den 5-Hydroxytryptamin-(Enteramin-) Gehalt des Magen-Darmtraktes bei den Wirbeltieren. Von V. ERSPAMER . . . 318

Ein einfacher Nachweis der durch tierische Gewebe, Homogenate, Gewebssäfte und Proteine bewirkten Polymerisation von monomerem Acrylamid zu Polyacrylamid. Von G. WILKE 319

Über die Kavitationswirkungen an Bakterien. Von A. LEMBKE und H. GANTZ 319

Lichtfilter im Fluoreszenzmikroskop zur Darstellung des Mycobacterium tuberculosis. Von A. KRIEG 320

Zur Genetik des LEWIS-Blutgruppensystems. Von H. J. PETTENKOFER 321

Die Kopulation von Blaniulus guttulatus (Diplopodae). Von HJ. KINKEL 322

Zum „Farbensinn" einiger Bufoniden. Von E. THOMAS . . . 322

BESPRECHUNGEN.

B. LEWIS und G. v. ELBE, Combustion, Flames and Explosions of Gases. (Ref.: BARTHOLOMÉ) 323

Advances in Enzymology and Related Subjects of Biochemistry. (Ref.: M. KIESE) 323

R. FABRY, Bodenkunde für Schule und Praxis. (Ref.: SCHEFFER) 324

U. EBBECKE, Johannes Müller, der große rheinische Physiologe. (Ref.: F. H. REIN) 324

Berichtigung 324

Praxis der Mikrophotographie

Von **Hans-Henning Heunert**, Hamburg. Mit 109 Abbildungen. VI, 94 Seiten. 1953. Ganzleinen DM 15.60

Inhaltsverzeichnis: **I. Grundbegriffe der Optik:** Sphärische Bildfehler. Chromatische Bildfehler. Bildfeldwölbung. Numerische Apertur. Abbildungsmaßstab. Auflösungsvermögen und förderliche Vergrößerung. — **II. Die mikrophotographische Apparatur:** Grundaufbau des Mikroskops. Die wichtigsten Apparatetypen und ihre Anwendungsmöglichkeiten. Die mikrophotographischen Kameratypen. Objektive. Okulare. Lichtquellen. Beleuchtungsapparatur (Kondensoren). — **III. Einstellungsmöglichkeiten am Mikroskop:** Einstellungen im durchfallenden Licht: Hellfeld, Dunkelfeld, Phasenkontrast. Einstellungen im auffallenden Licht: Hellfeld (Opakilluminator), Dunkelfeld (Ultropak). Einstellungen im polarisierten Licht. **IV. Die mikroskopische Aufnahme:** Errechnung der Vergrößerung und einfache Messungen am Mikroskop. Scharfeinstellung. Aufnahmematerial. Farbfilter. Belichtung. Negativentwicklung. Positivmaterial und Verarbeitung. — **V. Kleine Ratschläge:** Arbeiten mit Immersionsöl. Reinigung des Mikroskops. Mikro-Aufnahme-Merkbuch. Stufenweise Einstellung. Kühlung des Lichtes. — **VI. Die makrophotographische Aufnahme:** Erweiterung der mikrophotographischen Apparatur für makroskopische Zwecke: Apparate, Objektive. Die Makroaufnahme: Aufnahmen im durchfallenden Licht (Übersichtsschnitte), Aufnahmen im auffallenden Licht.

Dieses Buch behandelt alle grundlegenden Untersuchungsarten der Mikroskopie und gibt dem Praktiker und besonders der technischen Assistentin die erforderlichen Ratschläge für die Mikrophotographie. Es ist unter Einschränkung des Theoretischen ganz auf die Praxis abgestimmt und zeigt in über 100 Mikroaufnahmen den Vergleich zwischen richtiger und falscher Arbeitsweise. Ein spezieller photographischer Teil orientiert über den neuesten Stand des photographischen Materials und seiner Verarbeitung. Die umfangreichen Erfahrungen, die der Autor in seiner mikroskopischen Praxis, sowie als Leiter zahlreicher mikrophotographischer Kurse sammeln konnte, machen dieses Buch zu einem unentbehrlichen Hilfsmittel für jeden Mikroskopiker.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Begründet 1913 von *A. Berliner* und *C. Thesing*. 1934/35 herausgegeben von *H. Matthée*, 1936—1944 herausgegeben von *F. Süffert*, 1945—1949 herausgegeben von *A. Eucken*.

Beilage: „Mitteilungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte".

Bildet die Fortsetzung der „Naturwissenschaftlichen Rundschau". Begründet 1886 und bis 1912 (Jahrgang 27) herausgegeben von *J. Bernstein*, *V. Meyer*, *B. Schwalbe*, *W. Sklarek* u. a. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn.

Organ der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte und Organ der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften, (seit 1948) Organ der Max-Planck-Gesellschaft.

Die **„Naturwissenschaften"** erscheinen zweimal monatlich. Bestellungen nimmt jede Buchhandlung, in den Westzonen auch jedes Postamt entgegen. Preis vierteljährlich 15.— DM, für das einzelne Heft 3.— DM, zuzüglich Postgebühren. Die Mitglieder der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte erhalten die Zeitschrift im Abonnement mit einem Nachlaß von 20%. Für Studierende der Naturwissenschaften ermäßigt sich der Bezugspreis auf vierteljährlich 11,25 DM zuzüglich Zustellgebühren. Lieferung läuft weiter, wenn nicht vier Wochen vor Quartalsschluß abbestellt wird. Der Bezugspreis ist im voraus zahlbar.

Nachdruck: Es wird ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, daß mit der Annahme des Manuskripts und seiner Veröffentlichung durch den Verlag das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder an den Verlag übergeht. Grundsätzlich dürfen nur Arbeiten eingereicht werden, die vorher weder im Inland noch im Ausland veröffentlicht worden sind und die auch nachträglich nicht anderweitig zu veröffentlichen der Autor sich verpflichtet.

Es ist ferner ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages nicht gestattet, photographische Vervielfältigungen, Mikrofilme, Mikrophote u. ä. von den Zeitschriftenheften, von einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen.

Sonderdrucke: Den Verfassern von Originalbeiträgen und Kurzen Originalmitteilungen stehen 75 Exemplare kostenfrei zur Verfügung.

Anzeigen werden von der Anzeigenabteilung des Verlages (Berlin W 35, Reichpietschufer 20 [Britischer Sektor], Tel. 249251) angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe und des Platzes erfragen.

Vertriebs-Vertretung im Ausland:

Lange, Maxwell & Springer Ltd., 242 Marylebone Road, London, N.W. 1

Springer-Verlag

Berlin · Göttingen · Heidelberg

Redaktionelle Hinweise.

I. Allgemeines.

1. Bei der Einsendung von Manuskripten an „Die Naturwissenschaften" bittet die Redaktion die Herren Autoren, stets im Auge zu behalten, daß die Zeitschrift in erster Linie den Wünschen und Interessen des weiten Kreises ihrer Leser zu dienen hat und daß daher ihnen gegenüber Sonderwünsche der Herren Autoren in bezug auf Inhalt, Form und Umfang ihrer Veröffentlichung zurücktreten müssen, falls die Redaktion dies für erforderlich hält.

2. Vor allem bittet die Redaktion, von der Einsendung von Aufsätzen Abstand zu nehmen, die nur für einen eng begrenzten Leserkreis verständlich und von Interesse sind und die daher in einer Fachzeitschrift ihren richtigen Platz haben. Ausnahmen bilden knapp gefaßte Schilderungen der Ergebnisse eben fertiggestellter Arbeiten; für diese ist die Rubrik „KOM" („Kurze Originalmitteilungen") vorgesehen. Wegen Platzmangels sind allerdings auch hier gewisse Einschränkungen nötig. In bezug auf den Inhalt: Angenommen werden können nur wirklich wichtige Arbeiten (z. B. keine bloßen Analogiearbeiten). In bezug auf den Umfang: im Durchschnitt kann für eine einzelne KOM nur der Raum einer Spalte (etwa 1000 Silben) zur Verfügung gestellt werden.

3. Die KOM erscheinen „unter ausschließlicher Verantwortung der Autoren". Eine wissenschaftlich-kritische Stellungnahme der Herausgeber zu ihrem Inhalt erfolgt nicht. Die Redaktion prüft lediglich, ob ein genügendes Allgemein-Interesse vorliegt.

4. „Kurze Originalmitteilungen" aus dem englischen und französischen Sprachgebiet können in der Originalsprache veröffentlicht werden.

II. Spezielle Hinweise.

Alle Sendungen und Zeitschriften sind zu richten an:

Redaktion der Naturwissenschaften,

(20b) Göttingen, Theaterplatz 10, Fernsprecher 3371.

In sämtlichen Fällen erhalten die Autoren eine Bestätigung über das Eintreffen von Manuskripten sowie über deren Annahme oder Ablehnung. In den Aufsätzen sind seltene und nur einem kleinen Leserkreis verständliche Fachausdrücke nach Möglichkeit zu vermeiden oder in einer Fußnote kurz zu erläutern. Literaturzitate sind fortlaufend zu numerieren; die angeführten Arbeiten werden dann in einem Literaturverzeichnis am Schluß der Arbeit zusammengestellt. Bei Erläuterung des Textes durch Figuren ist überflüssiger Aufwand zu vermeiden. Figurenvorlagen für Strichätzungen sind so sorgfältig herzustellen, daß nach ihnen ohne weitere Rückfragen Reinzeichnungen angefertigt werden können. Diese werden zur Zeitersparnis den Autoren im allgemeinen nicht vorgelegt, sondern seitens der Redaktion kontrolliert.

Photographische Abbildungen (Autotypien) können gebracht werden, soweit sachlich erforderlich. In vielen Fällen läßt sich jedoch das Wesentliche durch eine (leichter reproduzierbare) Zeichnung ebensogut zeigen.

Korrekturen.

Die Autoren der Aufsätze, Berichte und Buchbesprechungen erhalten eine Fahnenkorrektur, deren umgehende Erledigung und Rücksendung erbeten wird.

Bei den KOM wird zur Beschleunigung des Erscheinens die Korrektur von Text und Abbildungen von der Redaktion besorgt, soweit nicht der Autor bei Einsendung des Manuskriptes ausdrücklich den Wunsch äußert, diese Arbeit selbst vorzunehmen. Bei KOM ohne Figuren soll hierdurch das Erscheinen innerhalb 4 Wochen nach Eingang bei der Redaktion ermöglicht werden.

Besprechungsexemplare.

Es wird gebeten, von der unverlangten Zusendung von Büchern, besonders kleineren Broschüren und Zeitschriften-Heften, abzusehen und zunächst eine Anfrage an die Redaktion zu richten, die dann von sich aus Exemplare anfordern wird. — Für die Rückgabe unverlangter Sendungen kann keine Gewähr übernommen werden.

Uniformisierung

Von **Rolf Nevanlinna**, Finnische Akademie, Honorarprofessor an der Universität Zürich. (Die Grundlehren der mathematischen Wissenschaften in Einzeldarstellungen mit besonderer Berücksichtigung der Anwendungsgebiete. Herausgegeben von R. Grammel, E. Hopf, H. Hopf, F. Rellich, F. K. Schmidt, B. L. van der Waerden. Band LXIV.) Mit 22 Abbildungen. X, 391 Seiten. 1953. DM 46.50; Ganzleinen DM 49.50

Inhaltsübersicht: Einleitung. — Algebraische Funktionen. — Begriff der Riemannschen Fläche. — Funktionentheoretische Grundsätze. — Existenzsätze. — Geschlossene Riemannsche Flächen. — Der Riemannsche Abbildungssatz. — Gruppen von linearen Transformationen. — Uniformisierung. — Schlichtartige Flächen. — Offene Riemannsche Flächen. — Literaturverzeichnis. — Register.

Die vorliegende zusammenfassende Darstellung der Theorie der Uniformisierung ist entstanden auf der Grundlage von Vorlesungen, die der Verfasser an den Universitäten Helsinki und Zürich gehalten hatte. Nach Möglichkeit sind auch die Fortschritte der geometrischen Funktionentheorie der letzten Jahre berücksichtigt worden, vor allem in der Richtung der Theorie der offenen Riemannschen Flächen.

SPRINGER-VERLAG BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Jahrgang 40 Heft 11 (Erstes Juniheft) 1953

Modelle der Nervenerregung.

Von K. F. BONHOEFFER, Göttingen.

Ein explosibles Gasgemisch, ein Stück passives Eisen in nicht zu konzentrierter Salpetersäure und ein lebender Nerv im Ruhezustand haben miteinander gewisse Ähnlichkeiten. Gegenüber kleinen vorübergehenden Störungen ist ihr Zustand stabil; überschreitet aber die Störung eine gewisse Größe, so tritt ein Ereignis ein, das man beim explosiblen Gemisch als „Entzündung", beim passiven Eisen als „Aktivierung", beim Nerv als „Erregung" bezeichnet. In allen drei Fällen bleibt das Ereignis nicht auf den Ort der Störung beschränkt, sondern es breitet sich über das ganze System aus. Das System ist also zwar im Ruhezustand stabil, in erreichbarer Nähe vom Ruhezustand aber befindet sich ein labiler Zustand, und, wenn dieser labile Zustand erreicht ist, so kann das an dieser Stelle eintretende „Ereignis" bewirken, daß die räumliche Umgebung ebenfalls in den labilen Zustand gebracht wird und sich das Ereignis fortpflanzt. Der Vergleich der Nervenleitung mit dem Abbrennen einer Lunte, die ja ein explosibles Gemisch darstellt, ist schon alt. Auf die Analogie zum Verhalten des passiven Eisens hat zum ersten Male WILHELM OSTWALD [*1*] hingewiesen. A. BETHE [*2*] hat mehrfach noch ein anderes Modell, nämlich die Zündung einer Glimmlampe mit parallel geschalteter Kapazität benutzt, um die Erregungsgesetze des Nerven zu illustrieren, und GREY WALTER [*3*] hat neuerdings durch eine geeignete Schaltung eines Systems vieler solcher Glimmlampen auch die Erregungsleitung darstellen können. Diese Schaltung kann man als ein elektrisches Abbild der wesentlich nicht-linearen Differentialgleichungen ansehen, die das Verhalten aller vorgenannten Systeme beschreiben.

1. Labilität.

Wie wir in diesem Aufsatz noch sehen werden, ist die in der Einleitung genannte Analogie nicht die einzige, die zwischen den Systemen besteht. Wir wollen aber zunächst einmal diese Analogie etwas näher betrachten und zwar speziell das Verhalten eines explosiblen Gasgemisches mit dem Verhalten eines lebenden Nerven vergleichen. Ein solcher Vergleich wurde bereits vor einer Reihe von Jahren in dieser Zeitschrift [*4*] in der Aufsatzreihe zum Gedächtnis an WALTHER NERNST durchgeführt. Die Zündung explosibler Gasgemische ist ja theoretisch und experimentell eingehend bearbeitet worden. Nach der Grundvorstellung von VAN'T HOFF kommt sie dadurch zustande, daß die bei einer exothermen Reaktion entwickelte Wärme nicht mehr rasch genug von der kühleren Umgebung abgeleitet wird und auf diese Weise zu einer sich dauernd steigernden Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit und damit der Wärmeproduktion führt. Graphisch kann man sich das Verhalten leicht veranschaulichen, wenn man als Abszisse den Temperaturüberschuß x des Gemisches über die Umgebung aufträgt und als Ordinate dessen zeitliche Ableitung dx/dt, welche der Bilanz von Wärmezufuhr und -abfuhr in jedem Augenblick proportional angenommen wird. Die durch die Reaktionswärme bedingte Wärmezufuhr wächst mit x in der in Fig. 1a, Kurve a gekennzeichneten Weise, wobei vorausgesetzt ist, daß die Reaktionsgeschwindigkeit bei der Umgebungstemperatur unmerklich ist. Die durch Wärmeleitung und Konvektion abgeführte Wärme wird durch Kurve b im Prinzip wiedergegeben. Als Superposition erhalten wir Kurve c, mit einem labilen Schnittpunkt mit der Abszissenachse bei L, wo die Abszisse den kritischen Wert der Zündtemperatur erreicht. Unterhalb L kühlt sich das Gemisch ab, oberhalb L erhitzt es sich über alle Grenzen. In Wirklichkeit steigt die Temperatur natürlich nicht über alle Grenzen. In Fig. 1a ist nicht berücksichtigt, daß Reaktionsgeschwindigkeit und Wärmeproduktion von der Zusammensetzung y des explosiblen Gemisches abhängt und daß diese sich während der Explosion ändert. Je mehr Reaktionsprodukte das Gemisch enthält, um so niedriger verläuft die für diese Zusammensetzung y charakteristische Kurve. Wir haben also mit einer Kurvenschar für verschiedene Zusammensetzung $y_0, y_1, y_2, \ldots, y_\infty$ zu rechnen, wobei die tiefste Kurve dem völlig verbrannten Gemisch entspricht (Fig. 1b). Während der Reaktion gehen wir von einer Kurve auf die nächste über und erhalten so einen Temperaturverlauf, wie er durch die punktierte Linie mit dem Pfeil wiedergegeben ist, d.h. einen Temperaturanstieg und -abfall.

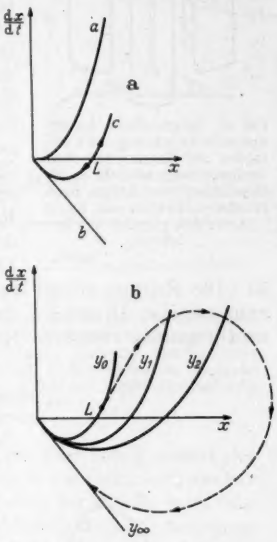


Fig. 1a u. b. Zustandekommen einer Explosion nach VAN'T HOFF. x Überschußtemperatur des explosiblen Gemisches über die Umgebung; L Zündtemperatur. a) a Wärmeproduktion; b Wärmeabfuhr; c Überlagerung von a und b, tatsächliches Verhalten des explosiblen Gemisches. b) y Zusammensetzung des explosiblen Gemisches; y_0, y_1, y_2, y_∞ die Kurven c aus Fig. 1a für verschiedene Gemischzusammensetzungen. Punktierte Kurve tatsächliche Zustandsänderungen des Systems.

Die in dem erwähnten Aufsatz aus allgemeinen Gründen vertretene Auffassung, daß die Reizschwelle des Nerven von einer ähnlichen Natur sei wie die Zündtemperatur und sich auch analog zu Fig. 1 darstellen lassen sollte, hat in der Zwischenzeit eine unmittelbare Bestätigung erfahren. Von COLE, CURTIS und MARMONT [*5*] einerseits und HODGKIN, HUXLEY und KATZ [*6*] andererseits sind für den Riesennerven des

Tintenfisches *Loligo* experimentelle Methoden ausgearbeitet worden, wie man in diesen Nerven axial Elektroden einführen und Nervenmembranpotentiale und Ströme durch die Membran transversal direkt messen kann. Das Schema einer solchen Anordnung ist als ein Beispiel dafür, wie weit heute die Experimentiertechnik bereits vorgedrungen ist, in Fig. 2 wiedergegeben. Im Innern der Nervenfaser, die einen Durchmesser von etwa 600 μ hat, befinden sich voneinander isoliert auf einen 70 μ dicken Glasstab spiralig gewickelt, zwei 20 μ dicke, mit Silberchlorid bedeckte Silberdrähte, von welchen der eine als interne Stimulationselektrode (IS) einer zylindrischen externen Stimulationselektrode (ES) gegenübersteht, während die andere als interne Registrierelektrode (IR) der externen ringförmigen Elektrode (ER) zugeordnet ist. Die Reizung erfolgt durch Anlegen einer Spannung zwischen IS und ES, die resultierende Spannung wird abgelesen zwischen IR und ER.

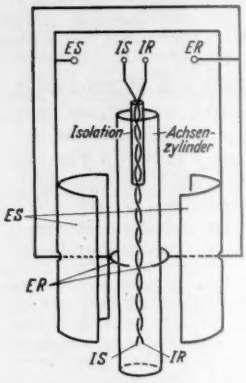


Fig. 2. Schematische experimentelle Anordnung der Elektroden zur Messung der Nervenmembranpotentiale an der Riesenfaser von Loligo nach HODGKIN, HUXLEY und KATZ. [Arch. Sci. physiol. 3, 130 (1949).]

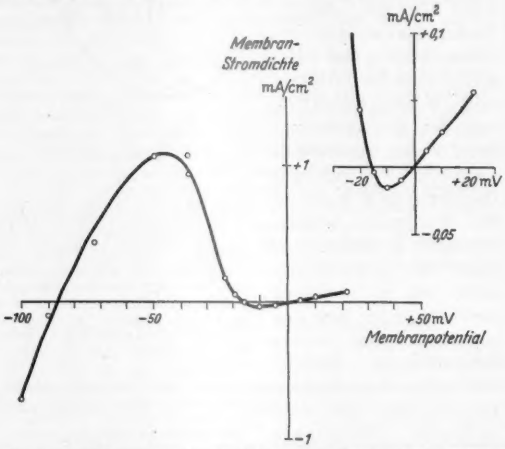


Fig. 3*). Beziehung zwischen der Änderungsgeschwindigkeit $-dV/dt$ des Membranpotentials des Nerven nach einem kurzen Stromstoß und dem Potential V, auf das die Membran durch den Stromstoß gebracht wird. Abszisse: Membranpotential, gemessen durch die Verschiebung vom Ruhepotential. Ordinate: eine der negativen Änderungsgeschwindigkeit proportionale Stromdichte. Im ersten Quadrant: Vergrößerung der Umgebung des Koordinatensprungs. [Nach HODGKIN, HUXLEY und KATZ. Arch. Sci. physiol. 3, 136 (1949), Fig. 6.]

Wurde ein kurzer elektrischer Stromstoß (vom Nerveninnern auswärts gerichtet) von etwa 10 μsec Dauer gegeben, so ergab sich die Existenz eines kritischen Wertes der durch den Stromstoß bewirkten Änderung des Ruhepotentials der Membran. Wird dieses Ruhepotential, das etwa +60 mV (außen positiv gegen innen) beträgt, dabei um weniger als 15 mV erniedrigt, so kehrt das Potential nach dem Stoß auf das Ruhepotential zurück; ist die Potentialerniedrigung („Depolarisation") aber größer, so tritt „Erregung" ein, und das Potential fällt je nach der Größe der Überschreitung nach mehr oder weniger langer Zeit (bei kleiner Überschreitung bis zu 10 msec verzögert) um etwa 110 mV, so daß jetzt außen mit etwa 50 mV negativ gegen innen ist. In Fig. 3 sind die Ergebnisse einer Arbeit von HODGKIN, HUXLEY und KATZ wiedergegeben. Die in der Figur als Abszisse eingetragenen Werte in 10^{-3} Amp/cm² sind proportional den experimentellen negativen dV/dt-Werten, so daß hier ebenso wie in Fig. 1 der zeitliche Differentialquotient einer Größe als Ordinate gegenüber der Größe selbst als Abszisse eingetragen ist. Interessant für uns sind hier nur die negativen Abszissenwerte; man sieht, besonders an der kleinen Zeichnung für die Umgebung des Nullpunktes (Ruhepotential), daß ein labiler Schnittpunkt bei —15 mV liegt. Ein Unterschied zu Fig. 1a besteht darin, daß nach Fig. 3 das Potential nicht die Tendenz hat, über alle Grenzen zu wachsen, sondern sich dem stationären Wert von ca. —100 mV nähert. In Wirklichkeit ist aber auch hier eine entsprechende Änderung vorzunehmen wie von Fig. 1a nach Fig. 1b. Das Potential bleibt nämlich in Wirklichkeit nicht bei ca. —100 mV, erreicht es nicht einmal ganz, sondern kehrt vorher zum Ausgangspunkt zurück. Die Erregung klingt ab. Der verschiedenen Zusammensetzung y entspricht ein variabler Refraktaritätsgrad. Dieser Begriff soll jedoch erst später erläutert werden (s. S. 304 sowie S. 305 f.).

Es ist hier nicht der Raum, den entsprechenden Vergleich mit der Aktivierung des passiven Eisens im einzelnen durchzuführen. Es muß genügen, darauf hinzuweisen, daß man ein sehr ähnliches Verhalten beobachtet, wenn man passives Eisen in Salpetersäure durch einen kurzen kathodischen Stromstoß polarisiert und die Salpetersäure hinreichend konzentriert ist, um passivierend zu wirken [7]. Auch hier beobachtet man ein kritisches Potential, das überschritten werden muß, damit Aktivierung eintritt. Die wirksame Stromrichtung ist allerdings umgekehrt (von außen nach innen). Da es bei Metallelektroden üblich ist, das Metallpotential ε_H gegenüber der Normalwasserstoffelektrode anzugeben, bedeutet eine kathodische Polarisation, also eine Stromrichtung vom Elektrolyt in die Metallelektrode *hinein*, eine Potentialerniedrigung, während bei der Nervenmembran das Potential durch die Potentialdifferenz $V_{\text{außen}}—V_{\text{innen}}$ ausgedrückt wird, und daher umgekehrt ein aus dem Nerv *aus*tretender Strom durch Polarisation das Potential erniedrigt. Obwohl also die für die Erregung bzw. Aktivierung wirksame Stromrichtung in beiden Fällen entgegengesetzt ist, spricht man in beiden Fällen von einer Potentialerniedrigung. In Fig. 4 ist der Spannungsverlauf der Aktivierung von passivem Eisen in konzentrierter Salpetersäure durch einen kathodischen Strom wiedergegeben.

Das Oszillogramm ändert sich nicht wesentlich in seinem Charakter, wenn der kathodische Strom abbricht, nachdem der Punkt das Kurvenstück c erreicht

*) *Anmerkung bei der Korrektur.* Durch ein Versehen wurde die hier wiedergegebene Kurve nicht der erwähnten Fig. 6 entnommen, sondern der dortigen Fig. 10, die sehr ähnlich ist, aber auf einem anderen, unabhängigen Wege beim Arbeiten mit konstanter Stromdichte (s. Fig. 5b dieses Aufsatzes) gewonnen wurde. Die Kurve in Fig. 6 der Arbeit von HODGKIN, HUXLEY und KATZ schneidet die Abszissenachse bei 0, —15 mV und —108 mV. Auf diese bezieht sich der Text.

hat, vorausgesetzt, daß der Strom überschwellig war. Bei *c* tritt dann unabhängig vom äußeren Stromfluß der Potentialfall *d*, d.h. Spontanaktivierung ein, die bis *j* anhält, worauf wieder Repassivierung erfolgt, wohlgemerkt auch während des kathodischen Stromflusses. Die Aktivierung des Eisens ist also ebenso vorübergehend wie die Erregung des Nerven. Was aber in diesem Zusammenhang mehr interessiert, ist das Verhalten in der Nähe der Aktivierungsschwelle. In das beobachtete Oszillogramm sind drei punktierte Linien, von *c* ausgehend, eingetragen, die den Potentialverlauf in diesem Schwellengebiet kennzeichnen. Kommt ein gerade unterschwelliger Stromstoß zur Verwendung, so erhält man die oberste der drei punktierten Linien, auf der nach Abbruch des Stromes ein schneller Rückgang zum Ausgangspotential erfolgt. Die beiden anderen punktierten Linien geben den Verlauf für verschieden stark (aber immer noch wenig) überschwellige Stromstöße wieder. Bei *c* liegt anscheinend das kritische Potential. Die eingehende theoretische Analyse zeigt allerdings, daß das wahre kritische Potential etwas höher liegt, doch müßte das in den Originalarbeiten nachgelesen werden.

2. *Erregungsgesetze.*

In diesem Abschnitt wollen wir den Vergleich mit dem explosiven Gasgemisch zurückstellen und statt dessen das passive Eisen mit dem lebenden Nerv vergleichen. Dazu ist es zweckmäßig, etwas über unsere Kenntnisse vom Ruhezustand des passiven Eisens in Salpetersäure und vom lebenden Nerv vorauszuschicken. Das passive Eisen wollen wir uns in Form eines Drahtes vorstellen. Dann ist in beiden Fällen das Wesentliche für uns ein schlauchförmiges Gebilde. Beim passiven Eisen ist dies die unsichtbare etwa 30 Å dünne Oxydhaut, die das metallische Eisen dicht bedeckt und vor chemischem Angriff durch die Säure schützt, beim Nerv ist es die ebenso dünne Nervenmembran. Das elektrochemische Potential, das sich an der Grenzfläche Eisenoxyd/Salpetersäure einstellt, ist im wesentlichen ein Redoxpotential, d.h. das Potential einer unangreifbaren Elektrode in einem Gemisch der Oxydations- und Reduktionsstufe eines Stoffes. Das passive Eisen verhält sich ähnlich wie Platin in dem Redoxsystem Salpetersäure/Salpetrigsäure. Etwas Salpetrige Säure muß immer in der Salpetersäure sein, damit sich ein definiertes Potential einstellt. Der maßgebliche Prozeß, der sich an der Grenzfläche abspielt, ist wie bei jedem Redoxsystem der Durchtritt von Elektronen. Daß wir eine gewisse Abweichung vom theoretischen Gleichgewichts-Redoxpotential beobachten (1,0 V statt 1,4 V), beruht erwiesenermaßen auf einer geringfügigen Korrosion des passiven Eisens, die hier nicht interessiert. Das elektrochemische Potential, das an der Nervenmembran beobachtet wird, wird im wesentlichen durch die Durchlässigkeit der Membran für Kaliumionen bestimmt. Die Kaliumionenkonzentration im Innern des Nerven ist wesentlich höher als in der umgebenden Flüssigkeit; bei Durchlässigkeit der Membran für Kaliumionen muß daher die Außenlösung positiv gegenüber dem Innern sein. Aber auch hier wird am isolierten Nerv nicht das reversible Gleichgewichtspotential beobachtet. Das Ruhepotential weicht gerade beim Riesennerv des *Loligo* beträchtlich von diesem ab. Man beobachtet +61 mV an Stelle +91 mV [7*a*], und auch hier erklärt man die Abweichung mit einer Undichtigkeit für andere Ionensorten, für die wir uns aber im folgenden auch nicht interessieren werden. Im wesentlichen haben wir also beim passiven Eisen den Elektronendurchgang, beim Nerv den Kaliumionendurchgang als potentialbestimmenden Prozeß.

Bevor wir nun auf das chemische Geschehen bei der Aktivierung bzw. Erregung eingehen, wollen wir kurz ihre formalen Gesetze besprechen. Zunächst geht aus der Darstellung in Abschnitt 1 hervor, daß es für Eisendraht wie für Nerv ein „Alles-oder-Nichts-Gesetz" in dem Sinne gibt, daß, wenn überhaupt der Reiz die kritische Größe überschreitet, der eintretende Erfolg (bezüglich des Potentialverlaufes) unabhängig

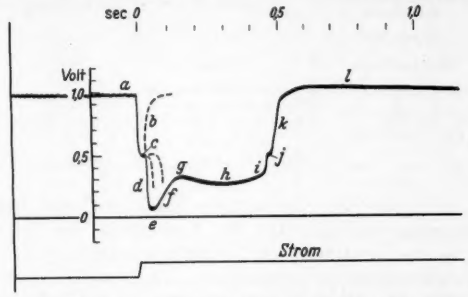


Fig. 4. Oszillogramm des Potentialverlaufs bei der Aktivierung von passivem Eisen in konzentrierter Salpetersäure durch kathodische Behandlung. Die punktierten Linien, die vom Kurvenstück *c* ausgehen, zeigen den Potentialverlauf in drei Fällen an, bei denen mit kurzen Stromstößen in der Nähe der Aktivierungsschwelle gearbeitet wird.

von der Größe des Reizes ist. Der Erfolg äußert sich übrigens beim Eisendraht nicht nur elektrisch, sondern auch durch sichtbare Auflösung des Metalls unter Gasentwicklung und Schlierenbildung, beim Nerven unter Umständen physiologisch durch Kontraktion der angeschlossenen Muskelfasern. Für kurze Stromstöße kommt es in beiden Fällen nur auf die zugeführte Elektrizitätsmenge an, beim passiven Eisen 1 bis $2 \cdot 10^{-4}$ Coul/cm² kathodisch, je nach Eisensorte und HNO_3 (bzw. HNO_2) Konzentration, beim *Loligo*-Nerv etwa $2{,}1 \cdot 10^{-8}$ Coul/cm² anodisch[1]). Man kann aber nicht beliebig schwache Ströme und entsprechend lange Zeiten für die Aktivierung bzw. Erregung benutzen. Es gibt eine bestimmte Stromdichte („Rheobase"), welche nicht unterschritten werden darf. Auch diese ist wiederum für den Eisendraht wesentlich größer als für den Nerv. Für den Eisendraht beträgt sie etwa $5 \cdot 10^{-3}$ Amp/cm², für den Nerv von *Loligo* $3{,}5 \cdot 10^{-5}$ Amp/cm² [1]). Zu jeder Stromdichte oberhalb der „Rheobase" gehört eine charakteristische Zeit, während der der Strom fließen muß, um aktivierend bzw. erregend zu wirken. Nur bei hoher Stromdichte ist diese ihr umgekehrt proportional. Man bezeichnet sie als Nutzzeit; im speziellen Fall der doppelten Rheobase heißt die zugeordnete Nutzzeit „Chronaxie". Die Chronaxie ist für den Eisendraht (je nach Sorte) etwa $4 \cdot 10^{-2}$ sec, beim Nerv $6 \cdot 10^{-4}$ sec. In Tabelle 1 sind entsprechende charakteristische Daten zusammengestellt.

[1]) Nach freundlicher brieflicher Mitteilung von Herrn COLE.

Tabelle 1. *Angaben der charakteristischen Daten für einen passiven Eisendraht in konzentrierter Salpetersäure und eine Riesenfaser von Loligo. Die Werte sind von Eisensorte und Faserindividualität abhängig und haben nur orientierende Bedeutung.*

Vergleichsdaten für Nerv- und Drahtmodell	Eisendraht (kohlenstoffhaltig)	Riesenfaser von *Loligo*
Richtung des wirksamen Stromes	Stromeintritt in den Draht	Stromaustritt aus dem Nerv
Potentialangaben	Potential ε_H gegen Normalwasserstoffelektrode	Potentialdifferenz $E = V_{\text{außen}} - V_{\text{innen}}$
Ruhepotential	$\varepsilon_H + 1{,}00$ V	$E = +0{,}061$ V
Aktiv- bzw. Erregungspotential	$\varepsilon_H + 0{,}3$ V	$E = -0{,}035$ V
Schwellenelektrizitätsmenge (kurze Stromstöße)	$2 \cdot 10^{-4}$ Coul/cm²	$2 \cdot 10^{-6}$ Coul/cm²
Schwellenstromdichte (Rheobase)	$5 \cdot 10^{-3}$ Amp/cm²	$3{,}5 \cdot 10^{-5}$ Amp/cm²
Chronaxie	10^{-2} sec	10^{-3} sec
Refraktärzeit	10^{2} sec	10^{-3} sec
Leitungsgeschwindigkeit	1,24 mm Durchmesser des Drahtes 4,6 mm Rohrdurchmesser 120 cm/sec	2000 cm/sec

Was geht nun chemisch bei der Aktivierung bzw. Erregung vor sich? Bei der Aktivierung des Eisens ist es die Zerstörung der Oxydhaut. Dadurch setzt ein neuer Elektrodenprozeß ein, die Grenzfläche wird für Eisenionen durchlässig. Das Potential, das sich am aktiven Eisen einstellt, ist das des in Lösung gehenden Eisens. Es hängt von der Geschwindigkeit des In-Lösunggehens ab und liegt je nach Säurekonzentration zwischen $\varepsilon_H \sim +300$ mV und $\varepsilon_H \sim +180$ mV. Nach der Theorie von BERNSTEIN [*8*] nahm man früher an, daß bei der Erregung die Membran zerstört würde, was der Zerstörung der Oxydhaut bei der Aktivierung des Eisens in gewisser Weise entsprechen würde. Danach sollte dann das Membranpotential bei der Erregung verschwinden. In Wirklichkeit aber dreht es, wie wir durch die bekannten Versuche von COLE und CURTIS [*5*] und von HODGKIN und HUXLEY [*6*] wissen, sein Vorzeichen um. Es wird außen negativ gegenüber innen. HODGKIN, HUXLEY und KATZ [*6*] haben gezeigt, daß diese Vorzeichenänderung auf einer Permeabilitätsänderung der Membran beruht. Die Membran wird für Natriumionen durchlässiger als für Kaliumionen, und da die Natriumionenkonzentration außen größer ist als innen, wird die Lösung außen negativ gegenüber innen. Für diese Rolle der Natriumionen spricht nicht nur die Tatsache, daß die Anwesenheit von Natriumionen für Erregbarkeit und Erregungsleitung im allgemeinen notwendig ist, und daß eine Herabsetzung der Natriumionenkonzentration eine Herabsetzung des Aktionspotentials zur Folge hat, die den theoretischen Erwartungen entspricht, sondern auch direkte Messungen der Aufnahme von Natriumionen unter Verwendung von radioaktivem ^{24}Na. Für das Membranpotential im erregten Zustand würde sich bei *Loligo* $E_{Na} = -49$ mV berechnen, wenn es ein Gleichgewichtspotential wäre, aber offenbar ist auch dieses gestört, und es beträgt in Wirklichkeit nur $E_{\text{aktiv}} = -35$ mV. Die Störung kann darauf beruhen, daß die Durchlässigkeit für Kaliumionen gegenüber der für Natriumionen nicht ganz zu vernachlässigen ist. Wir können also folgende Gegenüberstellung für die potentialbestimmenden Vorgänge machen, die allerdings nur grob richtig ist (Tabelle 2). Während im Modell die Zerstörung der Oxydschicht durch kathodische Behandlung und demnach der Übergang von einem Elektrodenprozeß zum andern ohne weiteres verständlich ist, können wir über die Ursache der Permeabilitätsänderung der Nervenmembran unter dem Einfluß des erregenden Stromes nur Vermutungen anstellen.

Tabelle 2. *Potentialbestimmende Elektrizitätsträger an den Grenzflächen bei Eisendraht und Nerv.*

Eisen		Nerv	
Passiv	Elektronen	in Ruhe	Kaliumionen
Aktiv	Eisenionen	erregt	Natriumionen

Das gleiche gilt, wenn wir jetzt einen Schritt weiter gehen und uns fragen, warum die Aktivierung in konzentrierter Salpetersäure oder die Erregung nur ein vorübergehender Vorgang ist. Es ist bemerkenswert, daß Repassivierung bzw. Rückkehr zum Ruhepotential sogar dann eintritt, wenn der erregende Strom bestehen bleibt. Beim Modell läßt sich das wiederum leicht verständlich machen. Die Oxydationswirkung von Salpetersäure wird durch die Anwesenheit von Salpetriger Säure sehr gesteigert, ja man kann sagen, praktisch wird sie erst dadurch hervorgerufen. Während der Zeit, in der das Eisen aktiv ist und sich in Salpetersäure löst, wird nun sehr viel Salpetrige Säure gebildet. Dadurch steigt die Oxydationskraft der Salpetersäure immer mehr, bis wieder das Eisen oberflächlich zu Oxyd oxydiert wird und passiv wird. Man kann diesen Gedanken quantitativ durchführen und findet ihn in dem beobachteten Oszillogramm (Fig. 4, Kurventeile *e* bis *j*) voll bestätigt (K. VETTER [*7*]).

Die Rolle der Salpetrigen Säure läßt sich auch etwas anders formulieren. Anstatt zu sagen, daß Salpetersäure nur in Gegenwart von Salpetriger Säure ein gutes Oxydationsmittel ist, kann man auch sagen, daß Salpetersäure nur in Gegenwart von Salpetriger Säure leicht reduziert werden kann. Dies gilt nun auch für das kathodische Verhalten von Salpetersäure. Man kann zeigen, daß die Anwesenheit von Salpetriger Säure die Einstellung des Gleichgewichts des Redoxsystems Salpetersäure/Salpetrigsäure katalysiert. Das heißt aber nichts anderes, als daß sie den Elektronendurchtritt zwischen Metall und Lösung beschleunigt. Der ganze Mechanismus ist auf Grund der von ABEL [*9*] untersuchten Kinetik der Salpetersäure/Salpetrigsäure-Reaktionen zu verstehen (K. VETTER [*7*]). Doch brauchen wir hier darauf nicht einzugehen. Die vorübergehende Potentialänderung, durch welche sich die Aktivierung verrät, kann man also dadurch erklären, daß vorübergehend der Eisenionendurchtritt als potentialbestimmender Vorgang den Elektronendurchtritt überflügelt, daß aber dann die Elektronenpermeabilität der Grenzflächen durch Katalyse so stark erhöht wird, daß daneben der Durchtritt der Eisenionen vernachlässigbar wird. Dadurch wird das Ruhepotential ungefähr wieder hergestellt, allerdings noch nicht der ursprüngliche Zustand, der vor der Aktivierung bestand. Zwar ist das Eisen wieder passiv geworden und die Durchlässigkeit der Grenzschicht für Eisenionen ist wieder zurückgegangen, dafür ist

aber jetzt die Durchlässigkeit für die Elektronen, solange die Salpetrige Säure noch nicht abdiffundiert oder auf andere Weise vernichtet ist, noch höher.

Etwas ganz Analoges spielt sich nun nach HODGKIN und HUXLEY an der Nervenmembran ab. Es zeigt sich experimentell, daß auf die Steigerung der Permeabilität für Natriumionen eine Steigerung der Permeabilität für Kaliumionen folgt, die diejenige für die Natriumionen überwiegt. Das bedeutet, daß das Erregungspotential abklingt und sich ungefähr das Ruhepotential wieder einstellt. Hält man aber das Potential an der Membran zwangsweise von außen konstant, wie das in umfassenden Versuchen mit einer Potentiostatenanordnung von HODGKIN und HUXLEY (1952) gemacht wurde, so beobachtet man bei Erniedrigung des Potentials unter das kritische Erregungspotential von 15 mV (gemessen gegen das Ruhepotential) einen vorübergehenden einwärts gerichteten Stromfluß, der von Natriumionen transportiert wird, mit einem anschließenden permanenten, auswärts gerichteten Kaliumionenstrom. Der Natriumionenstrom fließt in der entgegengesetzten Richtung zu derjenigen, in der ein Strom fließen würde, der dem OHMschen Gesetz folgen würde. Die Membran verhält sich also während dieser Zeit wie ein „negativer" Widerstand und kennzeichnet auf diese Weise die Labilität ihres Zustandes. Einen entsprechenden Versuch kann man natürlich auch mit dem passiven Eisen machen. Man beobachtet dann ganz Analoges: dem Natriumionenstrom während der Erregung entspricht der Eisenionenstrom während der Aktivzeit, dem Kaliumionenstrom ein (entgegengesetzt gerichteter) Elektronenstrom. Solche noch unveröffentlichte Versuche sind kürzlich von U. F. FRANCK durchgeführt worden. Eines seiner Oszillogramme, das dem Verfasser zur Verfügung gestellt wurde, ist in der folgenden Figur zum Vergleich mit einem von HODGKIN und HUXLEY an der Riesenfaser erhaltenen Oszillogramm wiedergegeben. Die korrespondierenden Stromdichten und Potentiale sind natürlich völlig verschieden. Eine genauere Analyse der Verhältnisse beim Nerv zeigt, daß der Natriumionenstrom vom entgegengesetzt gerichteten Kaliumionenstrom nicht nur deswegen überflügelt wird, weil letzterer später einsetzt und schließlich größer wird als der anfängliche Natriumionenstrom, sondern daß dieser im Laufe der Zeit „von selbst" versiegt. Die Ursache dafür ist heute noch ebensowenig klar wie die Ursache für alle angeführten Permeabilitätsänderungen der Membran. Sie kommt aber im Effekt genau auf das heraus, was man entsprechend am Modell beobachtet, wo man die Zusammenhänge versteht.

Nachdem die Aktivierung bzw. Erregung abgeklungen ist, ist der passive Eisendraht bzw. der Nerv nicht sofort wieder im ursprünglichen Zustand, obwohl das Ruhepotential einigermaßen wiederhergestellt ist. Der Eisendraht ist von Salpetriger Säure umgeben, die erst abdiffundieren muß, die aber, wenn der Eisendraht kohlenstoffhaltig ist, aus den langsamer korrodierenden Eisenkarbiden sogar noch eine Zeitlang nach der Repassivierung nachgebildet wird. Während dieser Zeit zeigt die Drahtoberfläche naturgemäß erhöhte Elektronendurchlässigkeit und ist daher schlechter polarisierbar als im ausgeruhten Zustand, oder anders ausgedrückt, der Draht verhält sich Aktivierungsversuchen gegenüber refraktär, da in Gegenwart von Salpetriger Säure nicht das Oberflächenoxyd reduziert wird, wofür das Aktivierungspotential erreicht werden müßte, sondern Salpetersäure. Das Modell ahmt also die beim Nerv bekannte Erscheinung der Refraktarität, die sich darin äußert, daß ein Reiz unmittelbar nach einer Erregung unwirksam bzw. weniger wirksam ist, nicht nur nach, sondern das Modell ruft diese Erscheinung anscheinend auch auf analoge Weise hervor. Die erhöhte Kaliumionenpermeabilität, die nach der Erregung besteht, bewirkt ebenfalls eine Verringerung der Polarisierbarkeit, d. h. sie verhindert bzw. erschwert, daß der Reizstrom die Membran bis zum kritischen Erregungspotential depolarisiert. Der Strom transportiert Kaliumionen durch die Grenzfläche, so wie er beim Modell Elektronen durch die Grenzfläche zur Salpetersäurereduktion transportiert, anstatt die Polarisationskapazität zu dem kritischen

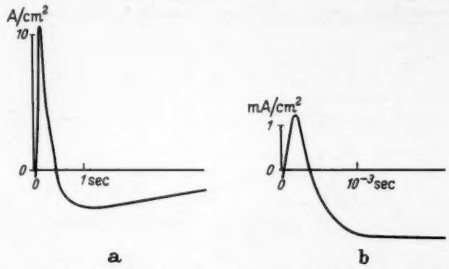


Fig. 5a u. b. Änderung der Stromdichte bei plötzlicher Änderung des Potentials mit Hilfe eines Potentiostaten auf einen konstanten Wert, bei welchem Aktivierung bzw. Erregung stattfindet. a Passives Eisen nach U. F. FRANCK, Spannungserniedrigungen um 0,5 V. b Riesenfaser von Loligo nach HODGKIN, HUXLEY und KATZ, Spannungserniedrigung 0,05 V (bei 22° C). Der vorübergehende positive Strom fließt entgegengesetzt zur Richtung, die sich nach dem OHMschen Gesetz ergeben würde („negativer Widerstand").

Aktivierungs- bzw. Erregungspotential aufzuladen. Es mag allerdings sein, daß im Fall der Nervenmembran noch zusätzlich der erwähnte Inaktivierungsvorgang für den Natriumionentransport bei der Erzeugung der Refraktarität eine Rolle spielt (HODGKIN und HUXLEY 1952).

Es ist hier nicht der Raum, die Akkommodationserscheinungen zu besprechen, die beim Modell und Nerv gemeinsam sind und die nach der hier zugrunde gelegten Vorstellung eine notwendige Folge der Erscheinungen der Refraktarität sind. Auch auf die hydrodynamischen und elektrischen Modelle von MONNIER [*9a*] zur Wiedergabe der Erregungsgesetze einschließlich der Akkommodationserscheinungen können wir nicht eingehen. Diese Modelle unterscheiden sich insofern prinzipiell von den hier besprochenen, als sie keinen Anspruch machen, den Erregungsvorgang selbst mit darzustellen. Sie enthalten keine Labilitäten und gelten gewissermaßen nur unterhalb der Schwelle.

3. Fortleitungserscheinungen.

Die Besonderheit der Nerven ist ihre Fähigkeit der Erregungsfortleitung. Fig. 6 gibt eine schematische Zeichnung, wie die Erregungsleitung elektrisch nachgewiesen und ihre Geschwindigkeit gemessen werden kann. Die schraffierte Stelle ist die erregte Zone, die gegenüber der Umgebung negativ ist. Die Erregung wird durch einen Gleichstromreiz in einer Anordnung erzeugt, die schematisch auf dem linken Ende der obersten Zeichnung wiedergegeben ist. Die Erregung

entsteht zunächst unter der Kathode (in der Zeichnung also auf der dem Galvanometer zugekehrten Seite). Sie pflanzt sich dann nach beiden Seiten fort, kann aber unter der Anode unterdrückt werden, so daß sie dann in der Zeichnung nur nach rechts fortschreitet. Der im Galvanometer registrierte Spannungsverlauf ist auf der rechten Seite der Figur wiedergegeben. Man bezeichnet diese Kurve als „diphasisches Aktionspotential".

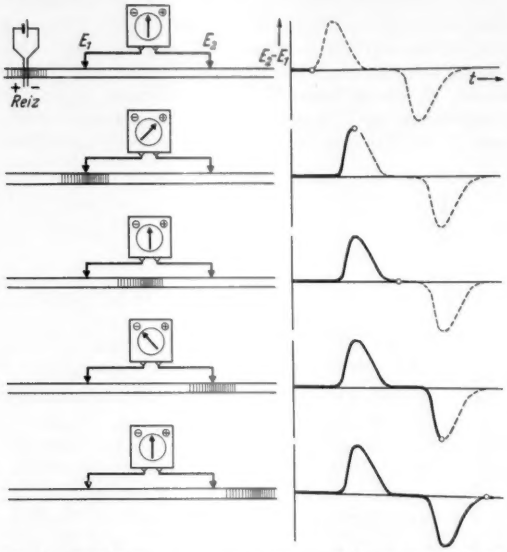


Fig. 6. Registrierung des „diphasischen Aktionspotentials", das durch eine fortschreitende Erregungswelle erzeugt wird.

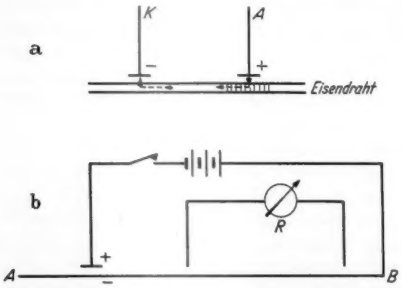


Fig. 7a u. b. a Aktivierung eines passiven Eisendrahtes in konzentrierter Salpetersäure „unter der Anode". b Übliche Anordnung zur Auslösung der Aktivitätswellen. *AB* passiver Eisendraht in konzentrierter Salpetersäure; *R* Registrierinstrument für das diphasische Aktionspotential.

Eine analoge Anordnung kann nun benutzt werden, um die Aktivitätswellenausbreitung auf einem passiven Eisendraht zu studieren. Zur Aktivierung muß man allerdings entsprechend dem im vorigen Abschnitt Gesagten etwa 100mal höhere Stromdichten verwenden und die Reizelektroden vertauschen, d.h. in Fig. 6 die Anode dem Galvanometer zukehren, denn die Aktivierung entsteht jetzt unter der Anode (Fig. 7a) an der Stelle, wo der Strom aus dem passiven Eisen austritt, und die sich ausbreitende Aktivität kann unter der Kathode unterdrückt werden. Zweckmäßiger verwendet man aber zur Aktivierung eine Anordnung, in der man das passive Eisen direkt durch einen Stromstoß zur Kathode macht (Fig. 7b), wobei der starke Nebenschluß durch den Elektrolyt in Anordnung Fig. 7a vermieden und der Strom besser ausgenutzt wird, oder man aktiviert durch kurzes Berühren mit einem Zinkstab. Die Fortpflanzung der so ausgelösten Aktivitätswellen ist im Anschluß an Heathcote [*1*] besonders gründlich von Lillie [*10*] studiert worden. Lillie zeigte insbesondere, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Aktivitätswelle um so größer ist, je weiter das mit Salpetersäure gefüllte

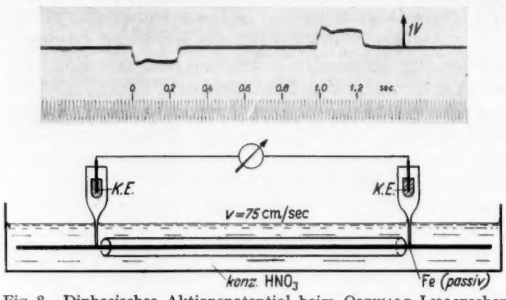


Fig. 8. Diphasisches Aktionspotential beim Ostwald-Lillieschen Nervenmodell. (Nach einer Aufnahme von Vollheim.)

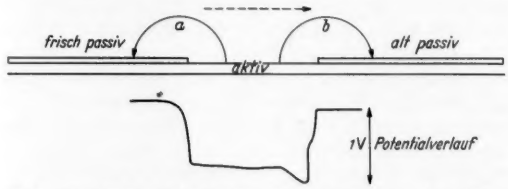


Fig. 9. Wanderung einer aktiven Zone auf einem passiven Eisendraht in konzentrierter Salpetersäure. Lokalstrom *a* reduziert Salpetersäure; Lokalstrom *b* reduziert Oxyd.

Glasrohr ist, in welchem sich der Draht befindet. In Fig. 8 ist ein Oszillogramm wiedergegeben, das man von einem Eisendraht erhält, auf dem eine Aktivitätswelle entlang läuft, die wie in Fig. 6 beim Nerv registriert wird. Die Analogie ist offenkundig.

Die Abhängigkeit von der Rohrweite ergibt sich aus Tabelle 3. Die Fortpflanzung der Aktivitätswelle kommt auf folgende Weise zustande. Von der aktiven Stelle fließen, wie in Fig. 9 angedeutet, Lokalströme durch die Lösung zu den benachbarten Gebieten und von da durch das Metall zurück. Diese Lokalströme bewirken an den Stellen, die schon lange passiv sind *b*), eine Reduktion des Oberflächenoxyds und damit Aktivierung. Das heißt, die Aktivitätszone dehnt sich in das „altpassive" Gebiet aus. An den frisch-passiven Stellen *a*) aber, an denen die Salpetrige Säure noch nicht abdiffundiert ist, bewirken die Lokalströme eine Reduktion der Salpetersäure und nicht eine Reduktion des Oberflächenoxyds, weil die Anwesenheit der Salpetrigen Säure die Reduktion der Salpetersäure katalysiert. Wenn der Draht sich in einer Salpetersäure befindet, die genügend konzentriert ist, um passivierend zu wirken, so werden sich die

Tabelle 3. *Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Aktivitätswelle auf einem Draht von 1,24 mm Durchmesser in Salpetersäure von der Dichte 1,375. Innendurchmesser des Glasrohres d.* (Nach K. F. Bonhoeffer und W. Renneberg [*11*].)

d (mm)	1,96	3,30	4,60	6,50	9,60	44,0
$V_{exp.}$ (cm/sec) . .	42	79	126	182	275	1350
$V_{theor.}$ (cm/sec) .	43	80	125	181	268	1232

Teile, die bereits am längsten aktiv sind, d.h. diejenigen in der Nähe der frisch-passiven Zone am schnellsten repassivieren, und wir erhalten auf diese Weise schließlich im stationären Zustand das Wandern einer aktiven Zone von konstanter Breite. Man sieht, daß die Existenz eines Refraktärzustandes, nämlich der schlechten Aktivierbarkeit frisch-passiven Eisens, die Voraussetzung für die Erscheinung ist.

Die Beobachtung von LILLIE, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Aktivitätswelle von der Menge der umgebenden Flüssigkeit abhängt, ist der anschaulichste Beweis für die Richtigkeit der Auffassung, daß die Ausbreitung durch Lokalströme in der Salpetersäure vermittelt wird. Diese Auffassung läßt sich quantitativ behandeln und führt zu einer theoretischen Berechnung der Abhängigkeit von der Rohrweite, die in bester Übereinstimmung mit dem Experiment ist, wie die Tabelle 3 zeigt [*11*]. Die absolute Geschwindigkeit läßt sich nicht mit dieser Genauigkeit berechnen. Die experimentellen und theoretischen Werte sind für einen bestimmten Rohrdurchmesser gleichgesetzt. Als eine weitere Bestätigung mögen unveröffentlichte Versuche von U. F. FRANCK genannt sein, nach denen zwei aktive Zonen, die auf demselben Draht in entgegengesetzter Richtung aufeinander zulaufen, sich bei ihrer Annäherung infolge der ausgreifenden Lokalströme gegeneinander beschleunigen, bevor sie zusammenstoßen.

Ganz entsprechend geht nun die Fortleitung beim Nerv vor sich, wie bereits im Jahre 1879 von L. HERMANN [*12*] erkannt wurde. Nach unserer heutigen Vorstellung fließen in die erregte Zone von der noch unerregten benachbarten Zone Lokalströme, welche die Permeabilität der benachbarten verändern und aus einer kaliumpermeablen Membran eine natriumpermeable machen. So rückt die Erregung vorwärts. Die aus der Erregung frisch auf das Ruhepotential zurückgekehrte Zone, welche beim Fortschreiten der Erregung hinter der Erregung zurückbleibt, wird aber durch die Lokalströme nicht wesentlich beeinflußt, da sie inzwischen refraktär geworden ist. Dem Rohrweiteneffekt beim passiven Eisen entspricht vermutlich die Tatsache, daß dickere Nervenfasern schneller leiten als analoge dünne. Auch die gegenseitige Beschleunigung zweier aufeinander zulaufenden Erregungszonen ist beobachtet worden [*13*]. Neuerdings ist aus den gemessenen Erregungsdaten für die Riesennervenfaser von *Loligo* auf Grund der Lokalstromvorstellung die Fortleitungsgeschwindigkeit mit gutem Erfolg berechnet worden. Es ergab sich 18,8 m/sec an Stelle des experimentellen Wertes von 21,2 m/sec (HODGKIN und HUXLEY 1952).

Eine Konsequenz dieser Auffassung ist die Vorstellung von der sog. saltatorischen Leitung. Bereits LILLIE hatte gezeigt, daß die Aktivität eine passive Zone, wenn diese mit einem eng anliegenden Glasrohr umgeben ist, bei der Ausbreitung überspringen kann, indem der Lokalstrom dann außerhalb des Rohres durch die Flüssigkeit fließt, und er machte darauf aufmerksam, daß auf diese Weise eine Geschwindigkeitserhöhung der Fortleitung zustande kommt. FRANCK [*14*] hat mit einem Modell, das in Fig. 10 wiedergegeben ist, die Gesetze der saltatorischen Leitung genauer studiert. Das Modell besteht aus einem beiderseitig zugeschmolzenen Glasrohr, in welches Eisenelektroden eingeschmolzen sind, die innen in einen nicht weiter interessierenden Elektrolyt tauchen, außen in konzentrierte Salpetersäure. Die Aktivierung eines Drahtes bewirkt durch Lokalströme die Aktivierung des nächsten und so fort. Bei festgehaltener Elektrodengröße nimmt die Fortleitungsgeschwindigkeit mit wachsendem Elektrodenabstand zunächst zu und dann wieder ab, bis sie schließlich Null wird. Es gibt also eine maximale Sprungweite für die Aktivierung, die dadurch gegeben ist, daß bei zu großer Entfernung die „Lokalstromdichte" unter den Schwellenwert der

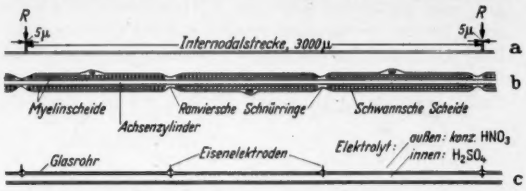


Fig. 10a—c. Saltatorische Leitung. a Markhaltiger Nerv, Dicke des Nerven, Ausdehnung der RANVIERschen Schnürringe und Länge der Internodalstrecke maßstabsgerecht. b Markhaltiger Nerv, schematisch, nicht maßstabsgerecht. c FRANCKsches Modell.

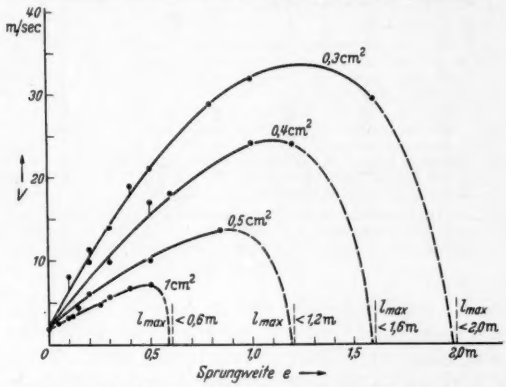


Fig. 11. Abhängigkeit der Fortleitungsgeschwindigkeit von dem Elektrodenabstand im FRANCKschen Modell. Die verschiedenen Kurven beziehen sich auf verschiedene Elektrodengröße.

Aktivierungsstromdichte (Rheobase) sinkt. Diese maximale Sprungweite (d.h. die Sicherheit der Leitung) wie auch die maximale Geschwindigkeit nehmen zu mit abnehmender Größe der Elektrode (Fig. 11). Dieses paradox klingende Ergebnis ergibt sich auf dem Boden der Lokalstromtheorie der Erregungsleitung ganz von selbst, wenn man bedenkt, daß die Stromdichte ceteris paribus mit Verkleinerung der Elektroden wächst.

LILLIE hat wohl auch als erster die Vermutung ausgesprochen, daß die markhaltigen Nerven saltatorisch leiten. Das umgebende Mark bildet eine Isolation, die nur in relativ großen Abständen (Größenordnung mm) auf ganz kurze Strecken (Größenordnung μ, RANVIERsche Schnürringe) unterbrochen ist. Der Strom tritt also praktisch nur in den Schnürringen aus, die den Eisenelektroden im FRANCKschen Modell entsprechen. TASAKI und HUXLEY, STÄMPFLI [*15*] haben das experimentell nachgewiesen, und von RUSHTON [*15*] ist eine eingehende Theorie des Vorganges mit einer Berechnung der Fortleitungsgeschwindigkeit gegeben worden.

Eine andere Konsequenz der Lokalströme ist die Wechselwirkung zweier benachbarter Drähte bzw. Nerven, wenn auf ihnen Aktivitäts- bzw. Erregungswellen entlang laufen [*16*]. Auch hier können wir

Modell und Nerv vergleichen. Spannt man zwei parallele passive Eisendrähte in konzentrierter Salpetersäure nebeneinander aus und läßt man auf einem eine Aktivitätswelle laufen, so polarisieren die damit verbundenen Lokalströme den Nachbardraht und beeinflussen damit dessen Erregbarkeit, ohne ihn aber selbst zu erregen. Eine gleichzeitige Erregung kann allerdings in dem Augenblick eintreten, in welchem der erste Draht zum Zweck der Aktivierung berührt wird, wenn die geometrischen Verhältnisse günstig sind. Läßt man auf zwei parallelen Drähten Aktivitätswellen gleichzeitig laufen, so hemmen sie sich in ihrer Geschwindigkeit. Ohne auf das Quantitative einzugehen, kann man diesen Effekt leicht voraussehen, da zwei nebeneinander liegende Drähte sich ähnlich wie ein dickerer

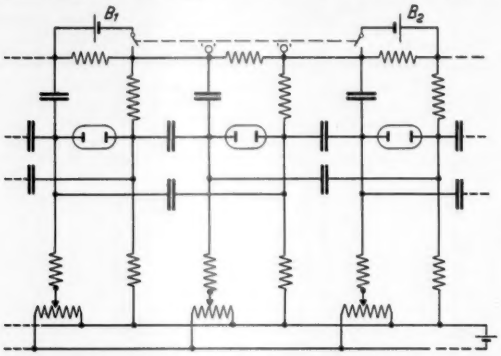


Fig. 12. Drei Elemente eines Glimmlampenkettenmodells von Grey Walter. Die Reize werden an den Batterien B_1 und B_2 gegeben. Das Modell ahmt praktisch das gesamte elektrische Verhalten eines Nerven nach.

Draht verhalten müssen und ein dickerer Draht langsamer leiten muß, weil ein dünnerer Draht relativ mit mehr Elektrolytflüssigkeit umgeben ist [*31*]. (Davon ist selbstverständlich der ebenfalls experimentell nachweisbare geschwindigkeitserhöhende Effekt abzutrennen, den ein in der Nachbarschaft befindliches genügend großes Metallstück durch seinen Beitrag zur elektrischen Leitfähigkeit hat.) Ein entsprechender Einfluß auf die Erregbarkeit benachbarter Fasern durch Ablauf von Erregungswellen wurde von Katz und Schmitt [*17*] gefunden. Ebenso fanden sie, daß zwei Reizwellen auf benachbarten Fasern sich gegenseitig verlangsamen.

Ich möchte noch einmal zurückkommen auf die Frage der Wanderung der aktiven Zone längs eines einzelnen passiven Eisendrahtes in konzentrierter Salpetersäure, die zu Beginn dieses Abschnittes erörtert wurde. Nach dem, was dort über diese Wanderung gesagt wurde, wandert offenbar die Aktivierungsfront ganz unabhängig von der Repassivierungsfront. Das ist jedenfalls richtig, wenn die aktive Zone nicht zu schmal ist. Man kann daher das Wandern der Aktivierungsfront auch untersuchen, wenn gar keine Repassivierung stattfindet. Man entfernt sich dadurch natürlich von der Ähnlichkeit mit der Erregungsleitung des Nerven, gewinnt aber den Vorteil diesen einen Vorgang in mancher Hinsicht besser studieren zu können. Franck [*18*] hat die Ausbreitung der Aktivität auf einem Eisendraht untersucht, der sich in Schwefelsäure befindet und vor der Aktivierung auf seiner ganzen Länge mit Hilfe eines anodischen Stromes passiv gehalten wurde. Die Intensität des Stromes reichte nicht aus, um den Draht aus dem aktiven in den passiven Zustand überzuführen. Wird nun an einer Stelle die anodische Polarisation unterbrochen oder wird dort gar entgegengesetzt kathodisch polarisiert, so breitet sich von dort die Aktivität über den ganzen Draht aus. Der Vorteil dieser Methode liegt in der Tatsache, daß man die Aktivierungsschwelle, die Rheobase dieses Systems, durch Variation der anodischen Polarisation fast beliebig variieren kann und so den Einfluß der Schwellenerregbarkeit auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit beobachten kann. Bei einer Änderung der Rheobase von etwa 10^{-5} Amp/cm² bis 1 Amp/cm² änderte sich die Geschwindigkeit der Ausbreitung von $5 \cdot 10^3$ cm/sec auf etwa $5 \cdot 10^{-2}$ cm/sec.

Es ist vielleicht hier der Ort, auf eine Schwierigkeit einzugehen, die Hermann, als er die „Strömchentheorie" der Erregungsleitung entwickelte, empfand und nicht überwand. Er bemerkte ganz richtig, daß die elektrischen Ströme, welche unter dem Einfluß von Potentialdifferenzen fließen, im allgemeinen die Tendenz haben, die Potentialdifferenzen auszugleichen und daß somit ein stationäres „dekrementloses" Wandern eines Potentialgefälles längs der Nervenoberfläche eigentlich aus der Differentialgleichung der Potentialtheorie unverständlich ist. Erst wenn man sich darüber klar wird, daß die Lokalströme spontane Potentialänderungen auslösen, so wie bei der Flammenfortpflanzung im explosiblen Gemisch der Wärmefluß aus der heißen Flammenzone eine spontane Temperaturerhöhung im benachbarten unverbrannten Gemisch bei der Entzündung hervorruft, wird der Vorgang verständlich. Voraussetzung für die Leitung ist also die Labilität des Systems. Besonders gut wird dies Geschehen durch das bereits anfangs erwähnte Modell von Grey Walter [*3*] veranschaulicht, das im folgenden mit dessen freundlicher Erlaubnis hier schematisch wiedergegeben wird. Der Impuls äußert sich im Zünden einer Glimmlampe, welche das notwendige labile Element in der Schaltung bildet. Jede Glimmlampe entspricht bei der saltatorischen Leitung etwa einem Ranvierschen Schnürring. Die Zündung einer Lampe ruft die Zündung der benachbarten durch kapazitive Koppelung hervor. Der Reiz wird durch Stromstöße von den Batterien B_1 und B_2 gegeben, von denen die eine so geschaltet ist, daß sie die Spannung an der ihr zugeordneten Glimmlampe auf die Zündspannung erhöhen kann und damit die Ausbreitung auslöst. Die andere Batterie ist entgegengesetzt geschaltet, erniedrigt die Spannung und ahmt den hemmenden Einfluß unter der Anode nach. Die Batterien können an beliebigen Stellen der oberen horizontalen Leitung angesetzt werden. Der Impuls wird durch Abnahme der Spannung an den in dieser Leitung liegenden Widerständen registriert. Dadurch, daß das Modell über die beiden entscheidenden Eigenschaften, die Labilität und die Refraktarität verfügt, ist es geeignet, nicht nur die Leitungserscheinungen, sondern praktisch alle elektrischen Phänomene bei der Tätigkeit eines Nerven nachzuahmen.

4. Rhythmische Vorgänge.

Alle Nerven neigen zu rhythmischer Betätigung. Adrian [*19*] hat gezeigt, daß bei natürlicher Erregung der Sinnesorgane rhythmische Aktionspotentiale den sensiblen Fasern entlang geschickt werden, deren Frequenz ein Maß für die Intensität des Reizes ist.

Seit langem weiß man, daß durch konstanten Gleichstromreiz viele marklose Nerven und auch markhaltige Nerven rhythmisch erregt werden [20]. Die Aktionspotentiale von Ganglienzellen zeigen automatische Rhythmen, die auf konstante „innere" Reize zurückgeführt werden, wenn man an dem Schema „Aktionspotential als Folge eines Reizes" festhält. Wenn man sich von der Physik her erinnert, daß für die Erzeugung von ungedämpften Schwingungen Systeme erforderlich sind, die sich selbst anfachen können und daher „negative Dämpfungsglieder" enthalten, so wird man vermuten, daß die Neigung zu rhythmischer Betätigung mit den im vorhergehenden erwähnten Labilitätserscheinungen zusammenhängt. Als Modell für die rhythmischen Erregungen wurde, wie bereits in der Einleitung erwähnt, von BETHE [2] die Kippschwingung vorgeschlagen, die man erhält, wenn man über einen Widerstand eine Kapazität auflädt, deren Platten über eine Glimmlampe verbunden sind, welche bei einer charakteristischen Spannung zündet und die Kapazität wieder entlädt. Das im vorangehenden Abschnitt erwähnte Modell von GREY WALTER [3] verwendet gleichfalls diese Idee und gibt rhythmische Impulsübertragung längs der Schaltungskette. Von VAN DER MARK und VAN DER POL [21] wurde die Idee der Kippschwingung zum erstenmal in konsequenter Weise auf ein biologisches System, das schlagende Herz, angewendet.

Es läßt sich nun zeigen, und das war im wesentlichen der Inhalt der früheren Mitteilung in dieser Zeitschrift, daß die Differentialgleichungen, welche unter plausiblen Annahmen das kinetische Verhalten bestimmen, zwanglos zu solchen Kippschwingungen führen [22.] Allerdings kann man nur auf graphischem Wege einen Überblick über die Lösungen dieser Gleichungen erhalten. Dabei kann man zum Ausgangspunkt die graphischen Darstellungen in Fig. 1 und 3 nehmen. Wir haben nur an Stelle der einen Variabeln x noch eine zweite Variabele y einzuführen, denn die kinetischen Differentialgleichungen geben die Geschwindigkeit einer Zustandsänderung in Abhängigkeit von dem Zustand wieder und sind daher Differentialgleichungen erster Ordnung. Man benötigt aber mindestens ein System von zwei Differentialgleichungen erster Ordnung, um eine periodische Lösung erhalten zu können. Einen Ansatz zu dieser Art Darstellung finden wir bereits in Fig. 1b, in welchem die Veränderungen wiedergegeben sind, die ein explodierendes System durchmacht. Hier ist berücksichtigt, daß zwei Variabele den Zustand des Systems bestimmen, die Temperatur x und die Zusammensetzung des Gemisches, die in der Fig. 1b als Parameter y gewählt ist. Die in dieser Figur durch eine punktierte Linie angegebene Änderung des Zustandes, der durch x und y gegeben ist, kann man erst konstruieren, wenn man die beiden Differentialgleichungen

$$dx/dt = f(x, y)$$
$$dy/dt = g(x, y)$$

kennt. In dem dort angegebenen Fall findet nach einem Anstieg von x ein monotoner Abfall statt, während y sich während des ganzen Vorganges monoton ändert. In Fig. 3 bedeutet x das Membranpotential. Wählt man nun für y irgendein Maß der Refraktarität, so kann man auch periodische stationäre Lösungen der Differentialgleichungen erhalten. Unter plausiblen Annahmen über die Abhängigkeit der Änderungsgeschwindigkeit der Refraktarität vom Zustand des Systems ergibt sich der qualitative Verlauf der Kurven $dx/dt = f(x,y) = 0$ und $dy/dt = g(x,y) = 0$. Sie sind als Kurve *1* und *2* in Fig. 13 schematisch dargestellt und schneiden sich in dem labilen Punkt P, bei welchem dx/dt und dy/dt gleichzeitig null sind und der im Sinne der mit Pfeilen versehenen Bahnkurven spiralig unter Bildung eines Grenzzykels umlaufen wird, welcher

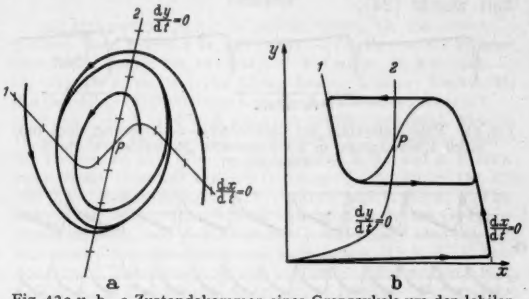


Fig. 13a u. b. a Zustandekommen eines Grenzzykels um den labilen Punkt P. Die Variabele x ist ein Maß für den Erregungsgrad, die Variabele y für den Refraktaritätsgrad. Auf dem Grenzzykel bewegt sich der rhythmische Vorgang. b Entstehung einer Kippschwingung aus dem unter a) gezeigten Grenzzykel durch Berücksichtigung der Tatsache, daß sich der Erregungsgrad sehr viel schneller ändert als die Refraktarität. Darüber hinaus ändert sich die Refraktarität im erregten Zustand schneller als im Ruhezustand, so daß bei Rhythmen die Aktivitätsdauer meist kürzer ist als die Dauer des Ruhezustandes.

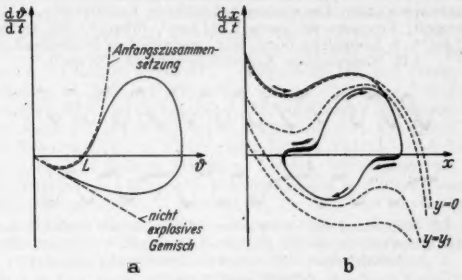


Fig. 14a. Änderungsgeschwindigkeit der Temperatur ϑ in einem explosiblen Gasgemisch in Abhängigkeit von der Temperatur bei konstanter Gemischzusammensetzung. --------- Zeitlicher Verlauf des Temperaturanstiegs und -abfalls. L Labilität (Zündtemperatur).

Fig. 14b. Änderungsgeschwindigkeit der Erregung dx/dt als Funktion des Erregungsgrades x bei konstanter Refraktarität (y = const). --------- Zeitlicher Verlauf der Zustandsänderung; ——— (rhythmischer Grenzzykel).

dem rhythmischen Vorgang entspricht. Während Fig. 13a das Grundsätzliche dabei zum Ausdruck bringt, ist in Fig. 13b den tatsächlichen Verhältnissen besser Rechnung getragen, wobei berücksichtigt ist, daß die relativen Änderungen der Refraktarität viel langsamer vor sich gehen als die Änderungen des Erregungsgrades. Die horizontalen Stücke der mit Pfeilen versehenen Bahnkurven werden daher sehr rasch durcheilt, und praktisch findet ein Hin- und Herspringen zwischen den beiden Stücken der Kurve *1* statt, denen sich der Grenzzykel anschmiegt. Mit Hilfe dieses Darstellungsverfahrens ist es möglich, die Fig. 3 in demselben Sinne zu ergänzen, wie Fig. 1a durch Fig. 1b ergänzt wurde. Man erhält dann Fig. 14b, die die Angaben von Fig. 13b in anderer Form erläutert. Zum Vergleich ist das Wesentliche von Fig. 1b in Fig. 14a noch einmal daneben gestellt.

Die ausgezogenen Linien geben jetzt den zeitlichen Verlauf der Zustandsänderung des Systems wieder. Die Verdickung der Linien in Fig. 14b soll bedeuten, daß an diesen Stellen das System sich nur langsam ändert. Der Vollständigkeit halber sei übrigens erwähnt, daß offenbar unabhängig von uns nach der gleichen Methode von Salnikow [23] die Möglichkeit rhythmischer Gasreaktionen diskutiert wurden. Die Methode entspricht genau derjenigen, die für die Selbstanfachung elektrischer Schwingungen entwickelt wurde [24].

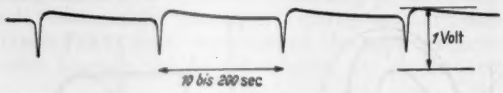


Fig. 15. Potentialverlauf bei kathodischer Aktivierung eines passiven Eisendrahtes in konzentrierter Salpetersäure durch Dauerstrom.

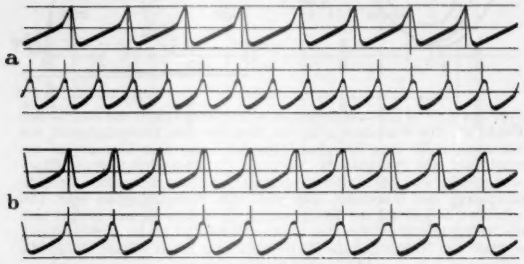


Fig. 16a u. b. Koppelung der elektrischen Schwingungen zweier in salzsäurehaltiger Chromsäure befindlicher Kobaltstücke. a Ungekoppelt: Frequenz des einen 0,465 sec^{-1}, Frequenz des anderen 0,77 sec^{-1}. b Koppelung durch einen metallischen Widerstand von 5 Ω. Gemeinsame Koppelungsfrequenz 0,58 sec^{-1}.

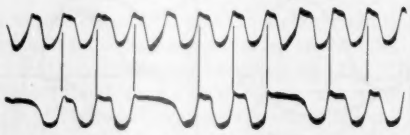


Fig. 17. Koppelung der elektrischen Schwingungen zweier benachbarter Kobaltstücke in der gleichen Lösung wie bei Fig. 17 durch Lokalströme. Zeitweise Synchronisierung und Ausgleichsschwingung.

Ganz wie der Nerv kann auch passives Eisen bei Reizung durch einen konstanten Dauerstrom unter bestimmter Bedingung rhythmisches Verhalten [7] zeigen; aber wie nicht alle Nervenarten rhythmisch erregt werden, so hängt es wesentlich von der Eisensorte ab, ob rhythmische Aktivierung einsetzt oder nur einmalige. Welche Faktoren hier maßgebend sind, weiß man noch nicht. In Fig. 15 ist das Oszillogramm einer rhythmischen Aktivierung eines passiven Eisendrahtes wiedergegeben. Die Spitzen sind die kurzdauernden Aktivpotentiale, die in gedehnter Zeitskala in Fig. 4 zu sehen sind. Anstatt das Eisen *chemisch* zu passivieren und *elektrisch* zu aktivieren, kann man auch das Umgekehrte tun, um periodischen Wechsel zwischen Aktivität und Passivität zu erhalten. Passiviert man z. B. Eisen anodisch in Schwefelsäure und setzt man dabei der Schwefelsäure in geringen Mengen Chloride zu, so können die Chlorionen diese aktivierende Funktion, die man im einzelnen noch nicht versteht, übernehmen [25]. Die so erhaltenen Schwingungen sind den rhythmischen Erregungen der Nerven weniger ähnlich, aber sie sind schon deswegen bemerkenswert, weil die chemische Aktivierung des Eisens wahrscheinlich ein Analogon für die Erregung der Nerven durch chemische Stoffe ist. Man kann auch ohne Schwierigkeit eine Schwellenkonzentration angeben, oberhalb derer die aktivierenden Substanzen erst ihre Wirkung ausüben.

Schließlich ist es auch möglich durch gleichzeitige Verwendung chemisch passivierender und aktivierender Stoffe rhythmische Vorgänge zu erhalten. Am besten ist diese Erscheinung in einer noch nicht veröffentlichten Arbeit von U. F. Franck und Meunier [26] an dem Verhalten von Kobalt in Chromsäure-Salzsäuregemischen studiert. Hier beobachten wir spontane Schwingungen, die mit großer Konstanz über viele Stunden hin andauern und manche Analogie zu den spontanen Potentialschwingungen der Ganglienzellen haben. Man kann zwei Metallstücke, die jedes für sich mit einer charakteristischen Frequenz schwingen, durch metallische Verbindung miteinander koppeln und zu synchronen Schwingungen veranlassen. Die Verhältnisse sind den üblichen Synchronisierungserscheinungen bei Kippschwingungen analog und dürften bei der Synchronisierung benachbarter Ganglienzellen eine Rolle spielen. Dabei ist zu bemerken, daß die Rhythmen auf ein und demselben Metallstück nicht an allen Stellen gleichmäßig in gleicher Phase ablaufen. Es bilden sich daher infolge der entstehenden Potentialdifferenzen Lokalströme aus, die auf eine Synchronisierung der Phase am selben Stück hinwirken, ohne sie zu erreichen. Man kann die Erscheinung auch so auffassen, daß von bestimmten Stellen aus sich die Aktivitäts- und Passivitätswellen ausbreiten, allerdings häufig mit sehr großer Geschwindigkeit und entsprechend großer Wellenlänge. Die Lokalströme greifen auch auf benachbarte, nur durch den gemeinsamen Elektrolyt leitend verbundene Metallstücke über und beeinflussen deren Pulsation. Die Kobaltstücke brauchen daher für eine Synchronisierung nicht unbedingt durch Metall leitend verbunden zu sein, es genügt unter Umständen große Nähe. Diese Wechselwirkungserscheinungen sind unter einem anderen Gesichtspunkt am System Eisen-Salpetersäure bereits im vorigen Abschnitt besprochen worden. In Fig. 16 ist die Synchronisierung zweier schwingender Kobaltstücke wiedergegeben. Die resultierende Frequenz liegt zwischen den Frequenzen der allein schwingenden Stücke. Die Koppelung durch einen Widerstand von 5 Ω ist ziemlich fest. Fig. 17 zeigt die unvollkommene Synchronisierung durch Lokalströme, bei denen die Koppelung wesentlich loser ist. Die Synchronisierung wird hier nur zeitweise erreicht, dann bildet sich eine regulierende Ausgleichsschwingung, um eine neue Synchronisierung für beschränkte Zeit zu ermöglichen. Es ist lehrreich, diese Erscheinung mit den von v. Holst [27] studierten zentral gesteuerten rhythmischen Gliedmaßenbewegungen zu vergleichen, über die dieser früher in dieser Zeitschrift berichtet hat. Bei der Koordination dieser Bewegungen treten ähnliche Effekte auf.

Wohl zu unterscheiden von den bisher besprochenen Schwingungen konstanter Amplitude, bei denen das System zwischen dem Ruhezustand und dem erregten bzw. dem passiven und aktiven Zustand hin und her wechselt, sind die Schwingungen, die gelegentlich im unterschwelligen Gebiet beobachtet werden und die meist als gedämpfte Schwingungen beschrieben werden. Dabei handelt es sich sowohl um Potentialschwin-

gungen (COLE [28], ARVANITAKI [20], HODGKIN und HUXLEY [6]) als auch um Schwingungen der Erregbarkeit (MONNIER und COPPÉE [29]). Wir können uns hier kurz fassen, weil für diese Schwingungen unsere Modelle nicht herangezogen werden können. Soweit es sich um Schwingungen um den Ruhezustand handelt, sind von HODGKIN, HUXLEY und KATZ [6] einleuchtende Deutungen gegeben worden. Weitere bemerkenswerte Ansätze finden sich bei KARREMAN [30]. Die Vorstellungen und auch die vorliegenden experimentellen Ergebnisse sind aber zur Zeit noch vielfach so widerspruchsvoll, daß es verfrüht wäre, eine Diskussion zu versuchen. So ist es auch noch nicht mit Sicherheit zu entscheiden, ob diese unterschwelligen Schwingungen beim Eisendrahtmodell noch nicht beobachtet wurden, weil die Verhältnisse in quantitativer Hinsicht ungünstig liegen, oder ob hier prinzipielle Unterschiede zwischen Nerv und Modell bestehen.

Schluß.

Überblickt man das gesamte Gebiet der physiologischen Eigenschaften und Betätigungen eines Nerven, so scheint es auf den ersten Blick erstaunlich, wie viel man davon mit unbelebten Modellen nachmachen kann. Es ist dies nur möglich, weil das so ungeheuer mannigfaltig erscheinende Material im Grunde auf wenige Tatsachen zurückgeführt werden kann. Man neigt häufig dazu, in der Nerventätigkeit etwas spezifisch Vitales zu sehen, das einer physikalisch-chemischen Analyse noch spottet. Es soll nicht bestritten werden, daß wir von einem vollen Verständnis noch entfernt sind. Aber die Rätsel liegen nicht da, wo sie der Laie zunächst vermutet. Reizschwellen, Reizleitung und rhythmische Spontantätigkeit finden wir auch in unbelebten Systemen, und es ist gerade der lebende Nerv, der von ihnen nachgeahmt wird. Wenn wir von den vielen noch unklaren Einzelheiten absehen, die sich auf die Chemie der Vorgänge beziehen und auf die wir nur zum Teil in der vorliegenden Abhandlung hingewiesen haben, so liegt das prinzipielle Problem jetzt in der Frage, wie es überhaupt zum Aufbau eines so labilen Zustandes wie dem eines Nerven kommt. Vergleichen wir den Nerv mit einem Explosivstoff, so haben wir im Vorhergehenden immer nur dessen Verbrennung oder Explosion untersucht, wir haben uns aber nicht mit der Fabrikation des Explosivstoffes beschäftigt. Diese Fabrikation ist es aber, die vom Leben dauernd betrieben wird. Oder, um auf das Eisendrahtmodell zurückzukommen, die Tätigkeit des Eisendrahtes findet ihr Ende, wenn der Draht in der Salpetersäure aufgelöst wird. Die Energie für die Tätigkeit des Modells entstammt aus der chemischen Energie, die der Metallurg bei der Herstellung des Eisens und der Chemiker bei der Herstellung der Salpetersäure aufgewandt hat. Der lebende Nerv erneuert sich aber immer wieder von selbst. Seine Energie wird dauernd vom Stoffwechsel, insbesondere der Atmung, geliefert. Der Weg, auf dem das geschieht, ist heute noch ziemlich dunkel.

Die Nervenzelle ist ein Organ, das die Funktionen der Erregung besonders eindrucksvoll bekundet. Erregbarkeit ist aber keineswegs auf die Nervenzellen beschränkt. Auch anderen Zellen mehrzelliger Pflanzen und Tiere sowie den Einzellern ist sie eigen. Die Klärung der Erregung beim Nerven dient somit der Klärung des allgemeinen biologischen Problems der Erregbarkeit.

Literatur.

[1] HEATHCOTE, H. L.: Z. physik. Chem. **37**, 368 (1901). — J. Chem. Soc., Industry **26**, 899 (1907). — [2] BETHE, A.: Pflügers Arch. **244**, 1 (1940); **246**, 485 (1943). — Naturwiss. **31**, 276 (1943). — [3] GREY WALTER, W.: The Living Brain. London: Duckworth. (Im Druck.) — [4] BONHOEFFER, K. F.: Naturwiss. **31**, 270 (1943). — [5] CURTIS, H. J., and K. S. COLE: J. Cellular Comparat. Physiol. **15**, 147 (1940); **19**, 135 (1942). — MARMONT, G.: J. Cellular Comparat. Physiol. **34**, 351 (1949). — [6] HODGKIN, A. L., and A. F. HUXLEY: Nature [London] **144**, 710 (1939). — J. Physiology **104**, 176 (1945). — HODGKIN, A. L., A. F. HUXLEY and B. KATZ: J. Physiology **116**, 424 (1952). — Arch. Sci. physiol. **3**, 129 (1949). — HODGKIN, A. L., and A. F. HUXLEY: J. Physiology **116**, 449, 473, 497 (1952); **117**, 500 (1952). — [7] BEINERT, H., u. K. F. BONHOEFFER: Z. Elektrochem. **47**, 441, 536 (1941). — BONHOEFFER, K. F., u. Mitarb.: Z. Elektrochem. **52**, 29, 60, 67 (1948). — BONHOEFFER, K. F., u. K. VETTER: Z. physik. Chem. **196**, 127 (1950). — VETTER, K.: Z. Elektrochem. **55**, 274, 675 (1951); **56**, 106 (1952). — [7a] HODGKIN, A. L.: Biol. Rev. **26**, 339 (1951). — [8] BERNSTEIN, J.: Pflügers Arch. **92**, 521 (1902). — [9] SCHMID, H.: Handbuch der Katalyse, Bd. 2, S. 3—14. Wien 1940. — [9a] MONNIER, A. M.: L'excitation electrique des tissues. Paris 1934. — [10] LILLIE, R. S.: J. Gen. Physiol. **3**, 167 (1920); **7**, 473 (1925); **13**, 1 (1929). [11] BONHOEFFER, K. F., u. W. RENNEBERG: Z. Physik **118**, 389 (1941). — [12] HERMANN, L.: Handbuch der Physiologie, Bd. 2/1. 1879. — [13] TASAKI, I.: Biochem. et Biophysica Acta **3**, 494 (1949). [14] FRANCK, U. F.: Z. Elektrochem. **55**, 535 (1951). — [15] TASAKI, I., u. T. TAKEUCHI: Pflügers Arch. **244**, 696 (1941). — HUXLEY, A. F., and R. STÄMPFLI: J. Physiology **108**, 315 (1949). — RUSHTON, W. A. H.: J. Physiology **115**, 101 (1951). — [16] BONHOEFFER, K. F., u. G. VOLLHEIM: Z. Naturforsch. (im Druck). — [17] KATZ, B., and H. SCHMITT: J. Physiology **97**, 471 (1940). — [18] FRANCK, U. F.: Z. Elektrochem. **55**, 154 (1951). — [19] ADRIAN, E. D.: The Basis of Sensation. London: Christophus 1928. — [20] FESSARD, A.: Proprietés Rhythmiques de la Matiere Vivante. Paris: Hermann 1936. — ARVANITAKI, A.: Propriétés Rhythmiques de la Matiere Vivante. Paris: Hermann 1936. — SCHRIEVER, H., u. R. CEBULLA: Pflügers Arch. **241**, 1 (1938). — HODGKIN, A. L.: J. Physiology **107** (1948). — SATO, M.: Jap. J. Physiol. **1**, 125 (1950); **2**, 277 (1952). — LORENTE DE NO, R.: Study of Nerve Physiology. New York 1947. — [21] POL, B. VAN DER, u. I. VAN DER MARK: Arch. néerl. Physiol. **14**, 418 (1929). — [22] BONHOEFFER, K. F.: Naturwiss. **31**, 270 (1943). — Ber. sächs. Akad. Wiss. **95**, 57 (1943). — [23] SALNIKOW, J. E.: Ber. Akad. Wiss. SSR **60**, 40 (1948). — [24] ROTHE, H., u. W. KLEEN: Elektronenröhren als Schwingungserzeuger. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft 1941. — [25] BONHOEFFER, K. F., u. U. F. FRANCK: Z. Elektrochem. **55**, 180 (1951). — [26] FRANCK, U. F., u. L. MEUNIER: Im Erscheinen. — [27] HOLST, E. v.: Naturwiss. **25**, 625, 641 (1937); **28**, 803 (1940). — [28] COLE, K. S.: J. Gen. Physiol. **25**, 29 (1941). — [29] MONNIER, A. M., et G. COPPÉE: Arch. int. Physiol. **48**, 129 (1939). — [30] KARREMAN, G.: Bull. Math. Biophysics **13**, 189 (1951). — [31] YAMAGIWA, K.: Jap. Med. J. **1**, 453, 557 (1948). — Jap. J. Physiol. **1**, 40, 49 (1950).

Max Planck-Institut für Physikalische Chemie, Göttingen.

Eingegangen am 6. Dezember 1952.

Berichte.

Ein medizinhistorischer Beitrag zur Faust-Interpretation.

Von B. v. HAGEN, Jena.

Schon längst hat die Kunst der Interpretation in GOETHEs „Faust" zeitgenössische reale Vorbilder entdeckt, die in die spätmittelalterliche Umwelt der Dichtung mit feinster Kunst so eingefügt worden sind, daß sie der Leser oder Theaterbesucher als solche nicht empfindet. Der Einschmelzungsprozeß gelang vielmehr dem Dichter so vollkommen, daß alles aus einem Gusse erscheint. Wenn Faust (im II. Teil) nach Hellas fliegt, so trifft er dort Landschaften an, die genau nach

zeitgenössischen Quellen der Reiseliteratur des ausgehenden 18. oder des beginnenden 19. Jahrhunderts gestaltet wurden. Die Erfindung des Papiergeldes ist zwar eine Erfindung des Teufels, ist aber zweifellos geboren aus den zeitgenössischen realen Vorgängen der französischen Assignaten-Inflation am Ausgang des 18. Jahrhunderts. Schließlich wissen wir seit ERNST BEUTLERs Untersuchungen, daß auch Gretchens Kerkerangst und Todesnot durch einen von dem Referendar GOETHE in Frankfurt (Januar 1772) *mit*erlebten Prozeß gegen die Kindesmörderin Susanne *Margarethe* Brandt bestimmend und wirksam zur künstlerischen Gestaltung geformt worden sind.

Solche und andere von der Literaturwissenschaft ergründete Tatsachen haben dem Verfasser einer höchst anregenden Studie, HANS PETZSCH[1]), vorgeschwebt, der vom Standort des Naturwissenschaftlers die Szene „vor dem Tore" auf ein ganz reales medizinisches Vorbild hin kritisch untersucht hat. Das Ergebnis ist für die Geschichte der Naturwissenschaft, insbesondere der Medizin, so wertvoll, daß wir die wesentlichen Punkte der Untersuchung hier mitteilen möchten.

Es handelt sich um die höchst eindrucksvolle Stelle des Osterspaziergangs, wo Faust von Wagner glücklich gepriesen wird, weil ihm, dem vielbeschäftigten Arzt und Helfer, die Volksmenge begeisternde Huldigungen darbringt. Faust strebt hinauf zu jenem Stein, von dem sich eine Aussicht ins Gelände bietet: hier hat er oft in verzweifelter Stimmung gesessen und „vom Herrn des Himmels" das Ende der Seuche herbeigefleht, gegen die er ebenso ohnmächtig angekämpft habe wie sein Vater. Daß man hier an den großen PARACELSUS denken könne, dessen Vater ebenfalls schon Arzt gewesen war, galt bisher als einzige Erklärung des Vater-Sohn-Motivs dieser Stelle. Als Produkt reiner Phantasie des Dichters kann die überaus anschauliche, mit vielen Einzelzügen verlebendigte Szene nicht gedeutet werden. Läßt GOETHE doch aus dem Munde des alten Bauern in voller Deutlichkeit (Vs. 993ff.) Faust gegenüber die schreckliche Zeit der „Pest" aufleben und dabei auch den Arztvater dankbar rühmen, der manchen der heute Lebenden „der heißen Fieberwut" entrissen und „der Seuche ein Ziel gesetzt" habe.

Auch *damals Ihr, ein junger Mann,*
Ihr gingt in jedes Krankenhaus;
Gar manche Leiche trug man fort,
Ihr aber kamt gesund heraus,
Bestandet manche harte Proben:
Dem Helfer half der Helfer droben.

Aus diesen Versen die Gestalten der realen Wirklichkeit herausgefühlt und durch wissenschaftliche Interpretation als solche erwiesen zu haben, ist das große Verdienst des Verfassers. Er grenzt zunächst — wie ein Literarhistoriker — sorgfältig die Zeit ab und legt als möglichen Zeitpunkt der Abfassung jener Faustszene den Terminus ante und den Terminus post quem fest (1806, 1797), schaltet dann mit einer an die Differentialdiagnose eines Mediziners unserer Tage gemahnenden Sorgfalt andere „Anwärter" (z. B. das ärztliche Vater-Sohn-Paar Sulzer) aus, um nunmehr *den* Mann als einzigen in Frage kommenden Arzt der Goethezeit und als „reales Vorbild" herauszustellen: CHRISTOPH WILHELM HUFELAND. Der war „damals", d.h. zur Zeit der in Weimar grassierenden Seuche (Pockenepidemie) wirklich noch „ein junger Mann". 1762 in Langensalza geboren, hatte er nach kurzem Studium in Jena, wo ihn nur der Anatom LODER in seinen Bann geschlagen hatte, in Göttingen studiert und 1783 bei LICHTENBERG promoviert, um sofort in *Weimar* seinem in harter Praxis alt gewordenen und nahezu erblindeten Vater, dem Hofmedicus HUFELAND, in seiner fast das ganze Thüringen nördlich des Ettersbergs umfassenden ärztlichen Wirksamkeit zu unterstützen, bis er nach des Vaters im März 1787 erfolgtem Tode die gesamte Praxis übernahm, angesehen als Arzt des Hofes und der geistigen Oberschicht Weimars (er war von 1783 bis 1793 auch GOETHEs Arzt!), gleich hochgeschätzt und verehrt von der Masse des Volkes, das namentlich in der Notzeit der furchtbaren Blatternseuche zu beiden Männern wie zu Helfern und Rettern aufschaute.

HUFELAND ist zwar erst in Jena als Professor der Medizin (1793 bis 1801) und Verfasser der in alle Sprachen übersetzten und riesige Auflageziffern erlebenden „Makrobiotik" bekannt und später als Begleiter der Königin Luise auf der Flucht nach Memel vor Napoleon wie als Professor, Arzt und Schriftsteller in Berlin weltberühmt geworden. GOETHE aber hatte ihn schon in den 80er Jahren des 18. Jahrhunderts in Weimar und dann in der Zeit seines akademischen Aufstiegs in Jena als ärztlichen Genius erkannt und war deshalb vollauf berechtigt, ihn „in die erste Reihe der großen faustischen Geister" zu rücken und *seinem* Faust Züge des in Göttingen, vor allem durch LICHTENBERG physikalisch, d.h. am Experiment, geschulten Mediziners zu leihen in jener Szene, die vor dem Tore spielt und Gelegenheit bot, den plump bewundernden Wagner dem ernsten Grübler und Zweifler Faust gegenüberzustellen.

Einzelheiten, wie *die persönlichen Beziehungen* HUFELANDs *zu* GOETHE, die Liebe HUFELANDs zu naturwissenschaftlichen Problemen (wobei freilich die Göttinger Anregungen durch LICHTENBERG stärker betont werden müßten), HUFELANDs Verdienste um die Schaffung des ersten Leichenhauses in Weimar (um das Begraben Scheintoter zu verhindern!) und andere Realitäten fügen sich wie von selbst in den Rahmen des gewonnenen Bildes. Auch *die Indizien aus* HUFELANDs *Jugendzeit* (früher Tod der Eltern, des Schwagers, religiöse Besinnlichkeit usw.) helfen das Bild der Szene vor dem Tore und die resignierenden Gedanken Fausts auf dem Steine der Anhöhe erläutern oder besser: verstehen. Das Wertvolle dabei ist, daß dem Recht und der Macht des *Dichters* nirgends Gewalt angetan, im Gegenteil Bewunderung gezollt wird, weil seine schöpferische Gestaltungskraft die vielen kleinen Einzelzüge aus Umwelt und Alltag in die Sphäre reiner Kunst emporhebt. Die *Resignation und Selbstbezichtigungen Fausts* in unserer Szene finden im Spiegel von HUFELANDs Charakter und Lebenswerk ehrfürchtige Deutung. Das gilt sowohl von HUFELANDs *Kampf gegen den Brownianismus* (dessen Opfer, nebenbei bemerkt, GOETHE im Januar 1801 durch heftige Erkrankung als Folge dogmatisch-übertriebener Therapie eines seiner Anhänger wurde) als auch von HUFELANDs schon 1787 in Weimar, 1791 und 1792 in Jena empfohlener Blatternbekämpfung durch sog. *indirekte Inokulation* (Impfung von Menschenblattern); es gilt besonders von seinem mannhaften und erfolgreichen Eintreten für JENNERs Großtat der *Kuhpockenimpfung*.

Auch die umwälzenden Erlebnisse HUFELANDs auf *pharmakologischem* Gebiet (Aufkommen der Homöopathie, der Hydrotherapie, Sieg der Chemie über die Alchimie) finden in PETZSCHs Untersuchung ihren Niederschlag. Sie hilft entscheidend zum Verständnis wirklich dunkler Stellen, wie die Anspielungen Fausts auf die gefährlichen Scheinkünste seines noch in alten Anschauungen wurzelnden Vaters, dessen persönliche pharmazeutische Betätigung, nach Praxisschluß am Spätabend, zum Verständnis der „*Schwarzen Küche*" wesentlich beiträgt. Die „*höllischen Latwergen*" vollends und den gesamten *Quecksilberspuk* mit seinen gefährlichen Auswirkungen zieht der Verfasser mit Recht in den Kreis seiner Nachprüfung. Erst vor kurzem ist mir im Universitätsarchiv zu Jena eine Anfrage der Universität Tübingen an die Medizinische Fakultät in Jena aus dem Jahre 1669 zu Gesicht gekommen, wo die Antwort der Fakultät für den Tod eines kleinen Kindes in Tübingen — also knapp 120 Jahre vor HUFELANDs Wirken in Weimar — klar und deutlich das nicht genügend sublimierte Quecksilber des Tübinger Apothekers verantwortlich macht, also einer Sublimatvergiftung die Schuld gibt.

Daß PETZSCH schließlich auch auf dem ihm fremden Gebiet der Sprachwissenschaft beachtliche Bemerkungen macht („*Gift*" und „*Pest*") und — immer zugleich aus HUFELANDs herrlicher, von W. v. BRUNN 1937 neu herausgegebener „Selbstbiographie" belehrt — die Depression in Faust-Hufeland gerade aus dem HUFELANDs ganzes Innere bedrängenden Kampf um Altes und Neues in Impfung und Therapie zu deuten sucht, verdient weitgehend Anerkennung. Wenn wir auch PETZSCHs Bestreben, die Szene aus der bloßen Überschrift „*vor* dem

[1]) War CHRISTOPH WILHELM HUFELAND das zeitgenössische reale Vorbild für J. W. v. GOETHE bei der Formgebung des Arzt/Vater-Arzt/Sohn-Motives in der Szene „vor dem Tore" des Faust I.? In: Wiss. Z. Martin Luther-Universität Halle-Wittenberg, Jahrg. II 1952/3, H. 1 Math.-naturwiss. Reihe Nr. 1.

Tore" ins Symbolische zu ziehen, ablehnen möchten, seine Deutung des vielzitierten Verses „*Mein Vater war ein dunkler Ehrenmann*" findet unsere volle Zustimmung. Der Nachdruck liegt zweifellos auf Ehrenmann, wie schon das positive Werturteil „in Redlichkeit" beweist; das vortreffliche Verhältnis HUFELANDs zu seinem Vater hilft auch hier. „Dunkel" hat keinesfalls anklagenden Charakter. Man darf mit BEUTLER „einfacher" Ehrenmann oder mit dem Verfasser „unklarer" Ehrenmann deuten, wenn man nicht, wie ich vorschlagen möchte, noch feinere Hintergründe aufhellen will, also etwa an den „im Dunkel tappenden" (d.h. in alten alchimistischen Anschauungen befangenen oder die „Arcana" bevorzugenden) alten HUFELAND denken will, dessen Augen die letzten Jahre seines Lebens völlig den Dienst versagten.

In großer Bescheidenheit macht Verfasser den Anspruch „auf einige Wahrscheinlichkeit". Wir sind der Meinung, daß hier eine — auch auf der Bühne überaus wirksame — Faustszene von einem Naturwissenschaftler mit den Mitteln historisch-philologischer Methodik medizinhistorisch voll ausgeschöpft worden ist, ohne daß der Verfasser dem Genius GOETHE jemals zu nahe tritt, der hier wie überall mit letzter Meisterschaft Erlesenes *und* Erlebtes aus eigener Schöpferkraft lebendig gestaltet und geistig „transformiert" hat.

Eingegangen am 13. November 1952.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die Kurzen Originalmitteilungen sind ausschließlich die Verfasser verantwortlich.

Ein Hilfsgerät zum Ausmessen von Oszillogrammen.

Überall, wo gleichwelche Registriermethoden wellen- bzw. zackenförmige Kurven liefern (Thermo-, Baro-, Seismo-, Elektrooszillogramme usw.), wird man sich oft nicht mit dem

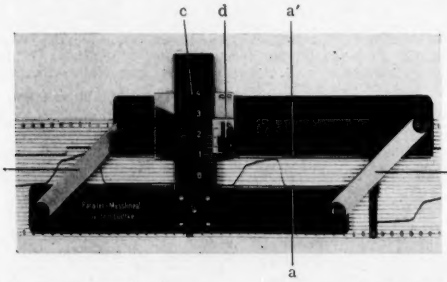


Fig. 1. Parallel-Meßlineal. a unteres, a' oberes Lineal; b, b' Parallelführungen; c Brücke mit Millimeterteilung; d Läufer mit Nonius.

Formenvergleich, also qualitativer Analyse begnügen, sondern darüber hinaus durch metrisches Auswerten genauere Aufschlüsse wünschen. Die dazu bisher meist üblichen Geräte, wie Dreieck, Lineal, Stechzirkel usw., sind brauchbar, aber nicht immer genau genug, zudem zeitraubend. Will man aber z.B. viele lange Oszillogramme zu statistischen Zwecken mit großer Meßgenauigkeit auswerten, so empfiehlt sich die Verwendung des in Fig. 1 dargestellten Geräts, das sich bei der metrischen Analyse von elektrophysiologischen Ergebnissen am Insektenauge in jeder Hinsicht bewährt. Es entlehnt seine Grundform dem Parallel-Lineal des Nautikers, benutzt jedoch nur die Innenkanten (a, a') beider Lineale, so daß während der Messung das auszuwertende Kurvenstück unbedeckt und voll übersehbar bleibt. Die zu beiden Linealen senkrechte Brücke (c) trägt am rechten Rande eine eingravierte Millimeterskala und sitzt am unteren Lineal (a) fest. Auf dem freien Ende der Brücke und zugleich auf dem oberen Lineal (a') gleitet in zwei zueinander senkrecht stehenden Schwalbenschwanzführungen der Läufer d; er trägt eine Noniuseinteilung. Beide Führungen sind frei von totem Gang und gestatten, den Vertikalabstand beider Lineale auf $^1/_{10}$ mm genau abzulesen, notfalls mit Hilfe einer dem Läufer aufsetzbaren Lupe. Wenn nötig, vermag man bis zur nächstniederen Zehnerpotenz abzuschätzen.

Bis auf den Läufer (d) und die beiden Parallelführungen (b, b') besteht das abgebildete Gerät aus schwarz-weiß-schwarzem Dreischichtenmaterial (Kunststoff). Die feine, scharf gegen die weiße mittlere Schicht abgesetzte schwarze Schneidenkante erleichtert das genaue Einstellen besonders auf weißem Untergrund.

Hauptvorzüge des beschriebenen Stücks, dessen Meßbereich 30 mm beträgt, sind ganz erhebliche Zeitersparnis, große Meßgenauigkeit und Handlichkeit. So kann man aufeinanderfolgende Oszillationen eines Retinogramms in einem Zuge nachmessen; die Schneide (a) liegt für alle Einzelmessungen der einmal gewählten Basis an, während allein das obere Lineal nachrückt und zwangsläufig den Nonius einstellt.

Ich danke Herrn Ing. RUPRECHT LAUCK (Freiburg i. Br.) für die Anfertigung des abgebildeten Parallel-Meßlineals nach meinen Vorschlägen.

Zoologisches Institut der Universität Freiburg i. Br.

HEINZ LÜDTKE.

Eingegangen am 4. Mai 1953.

Sur la possibilité d'un nouveau modèle statique de cosmologie. II.*)

1. Dans la première partie de notre travail[1]) nous avions déjà signalé la possibilité d'un modèle cosmologique avec une distribution homogène de charge électrique, si l'on suppose une généralisation de l'équation de NORDSTRÖM et JEFFERY. (Deux erreurs qui étaient commises là, seront indiquées ici.)

L'équation de NORDSTRÖM est

$$ds^2 = -e^{-(\lambda + 4\pi\eta^2/r^2)}\,dr^2 - \cdots + e^{(\lambda+4\pi\eta^2/r^2)}\,dt^2. \qquad (1)$$

La généralisation est, comme on verra,

$$ds^2 = -e^{-(\lambda+E)}\,dr^2 - \cdots + e^{\nu+E_\nu}\,dt^2 \;\; [\lambda=\nu,\; E=E_\nu]. \qquad (2)$$

La relation de NORDSTRÖM était basée sur la condition suivante

$$\partial J^{41}/\partial x_1 = -\sin\Theta\,\frac{\partial}{\partial r}\,[(e^{-\frac{1}{2}(\lambda+\nu)})\,r^2\,k_4'] = 0. \qquad (3)$$

Mais on peut examiner le cas $\partial J^{41}/\partial x_1 \neq 0$, et notre supposition — c'est à dire, „la distribution homogène" — nous contraint à le faire. C'était déjà travaillé, dans une forme particulière $(\partial J^{41}/\partial x_1 = f(r))$ par L. SILBERSTEIN[2]). Nous partons de la relation $\partial J^{41}/\partial x_1 = \text{const}$, conforme à notre supposition. Avec $g_{11} = -e^P$; $g_{44} = e^Q$; $K_1, K_2, K_3 = 0$; $K_4 = f(r)$ nous avons[3]) donc, $(F^{\mu\nu})_\nu = 1/\sqrt{-g}\,\frac{\partial}{\partial x_\nu}\left(F^{\mu\nu}\sqrt{-g}\right) = c$ si l'on adopte la méthode de derivée d'un tenseur antisymétrique[4]). Nous déduisons

$$k_4' = \frac{c_1 \int r^2 e^{(P+Q)/2}\,dr + \text{const}}{r^2\,e^{-(P+Q)/2}};$$

$$E_1^1 = -E_2^2 = -E_3^3 = E_4^4 = \tfrac{1}{2}\,e^{-(P+Q)}\,(k_4')^2$$

et

$$e^Q(1 + rQ') - 1 = -8\pi\,g_{22}\,E_2^2 - 8\pi\,g_{22}\,T_2^2$$

et

$$e^\nu(1 + r\nu') - 1 = -8\pi\,g_{22}\,T_2^2.$$

Cela donne

$$e^P = e^{-Q}$$

et

$$E_1^1 = \tfrac{1}{2}\,e^2\,r^2$$

au lieu de la relation

$$t_1^1 = \tfrac{1}{2}\,e^2/r^4.$$

Pour établir un modèle de cosmologie, nous partons donc du système des équations $ds^2 = -e^{-k_1}dr^2 - \cdots + e^{k_2}dt^2$, $k_1 = k_2$

$$8\pi\,T_1^1 + 8\pi\,t_1^1 = -e^{(\lambda+E)}[(\nu' + E_\nu')/r + 1/r^2] + 1/r^2$$

$$8\pi\,T_2^2 + 8\pi\,t_2^2 = -e^{(\lambda+E)}[(\nu'' + E_\nu'')/2 - \cdots \text{etc.}]$$

*) NEUMANN-SEELIGER zum Gedächtnis.

(Notons que, dans la première partie de notre travail, $e^{-(\lambda+E)}$ était écrit, par mégarde).

Suivons la méthode indiquée dans notre travail I et nous obtiendrons donc

$$E''_\nu/2 + E'_\nu(1/r - \lambda'/4) = -\lambda' e^{-E}/2r + (e^{-E} - 1)/r^2 + \lambda'/2r \quad (4)$$

et

$$e^{-E} = (N E'_\nu/r + N/r^2)/(N/r^2 - M/r^2) \quad \text{où} \quad N = e^\lambda,\ M = 4\pi e^2. \quad (5)$$

Substituant (5) en (4), nous avons

$$E''_\nu + E'_\nu\left[2/r - \lambda'/2 - \frac{2N/r - N\lambda'}{N - M}\right] = \frac{2N/r^4 - N\lambda'/r}{N/r^2 - M/r^2} - 2/r^2 + \lambda'/r \quad (6)$$

avec l'élément linéaire

$$ds^2 = -e^{-(\mu + E_\nu)}\, dr^2 - \cdots + e^{E_\nu}\, dt^2.$$

2. Maintenant nous étudierons les propriétés de notre modèle.

1° Premier cas, si $R = \infty$ mais $M \neq 0$, c'est à dire, nous considérons un univers Euclidien, dont la distribution de matière chargée d'électricité est uniforme.

Nous avons

$$E''_\nu + E'_\nu\left(2/r - \frac{2/r}{1 - M}\right) = (2/r^2)/(1 - M) - 2/r^2, \quad (7)$$

où

$$E'_\nu = e^{\psi + \log h},$$

où

$$\psi = -2\log r + 2c\log r + c_1, \quad h = \int e^{-\psi}\, 2/r^2\,(c - 1)\, dr + c_2,$$
$$[c = 1/(1 - M)].$$

Cela donne

$$E'_\nu = \frac{2(c-1)}{(1-2c)\,r} + c_3 r^{2c-2};\ E_\nu = \frac{2(c-1)}{1-2c}\log r + c_4 r^{2c-1} + A. \quad (8)$$

Étudierons l'équation de géodésique et le rougissement possible de Nébuleuses. Dans l'univers d'EINSTEIN, nous le savons, l'équation géodésique est

$$d^2 x^\sigma/ds^2 + \{44, \sigma\}(dt/ds)^2 = 0$$

si $dr/ds, d\Phi/ds, d\Theta/ds = 0$. Avec $e^\nu = 1$, nous avons $d^2 x^\sigma/ds^2 = 0$. Dans notre modèle, quand nous nous bornons à la surface $\Theta = \pi/2$, nous avons $ds^2 = -e^\lambda dr^2 - \cdots + e^\nu\, dt^2$, $\lambda = \lambda_1 + E$, $\nu = E_\nu$

$$dr/ds,\ d\varphi/ds = 0;\ dt/ds = e^{-\nu}. \quad (9)$$

(9) donne

$$d^2 r/ds^2 = -\tfrac{1}{2} E'_\nu (e^{\mu + E_\nu});\quad ds = e^{\frac{1}{2}E_\nu} dt.$$

Notons que pour l'univers de de-Sitter $d^2 r/ds = r/R^2$; $ds = (1 - r^2/R^2)\, dt$.

2° Si l'on suppose une distribution très clairsemée de matière electrifiée, — c'est à dire, si l'on peut négliger M/N, nous avons, *analoguement* au traitement de 1°. —

$$E''_\nu + E'_\nu \frac{r}{R^2 - r^2} = 2r^2/(R^2 - r^2)$$

$$E'_\nu = -\cos\Theta \log\tan(\pi/4 + \Theta/2) - R^2 \cos 2\Theta/2$$

$$E_\nu = -2R^2\,[\log\cos\Theta + \sin\Theta\log\tan(\pi/4 + \Theta/2) - \tfrac{1}{2}\sin^2\Theta]$$

où

$$r = R\sin\Theta$$

et

$$ds = e^{(\frac{1}{2}E_\nu)} dt.$$

Cela donne $ds = dt$, si $r = 0$.

Khaira Laboratory of Physics University College of Science, Calcutta 9.

R. L. BRAHMACHARY.

Eingegangen am 16. April 1953.

[1]) BRAHMACHARY, R. L.: Naturwiss. **40**, 51, 324 (1953).
[2]) SILBERSTEIN: Theory of Relativity, S. 453. 1924.
[3]) EDDINGTON, A. S.: Mathematical theory of relativity, S. 185. 1923.
[4]) EDDINGTON, A. S.: Mathematical theory of relativity, S. 114. 1923.

Kovolumeneffekt und Theorie starker konzentrierterer Elektrolyte in wäßrigen Lösungen.

In letzter Zeit ist man in der Theorie hochkonzentrierter Elektrolytlösungen dazu übergegangen, die BOLTZMANN-Statistik durch eine Statistik zu ersetzen, in der das Eigenvolumen der hydratisierten Ionen bereits mit enthalten ist. Schon bei DUTTA und BAGCHI[1]) findet sich eine Art FERMI-Statistik, welche die Verfasser auf Elektrolytprobleme angewandt haben. Ferner stellten EIGEN und WICKE[2]) eine Verteilungsfunktion auf, die von H. FALKENHAGEN und G. KELBG[3]) auf Gemische von beliebig vielen Sorten von Teilchen verallgemeinert wurde[4]). Bei Anwendung dieser Statistik auf reversible und irreversible Prozesse in starken Elektrolyten wurde bisher die folgende Annahme gemacht: Die Verteilung der Ionen im Elektrolyten ist so beschaffen, daß nur Ionen gleicher Ladung sich verdrängen, während

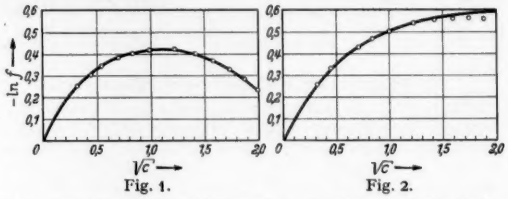


Fig. 1. Fig. 2.

Fig. 1. Mittlerer Aktivitätskoeffizient von NaCl in Abhängigkeit von der Wurzel aus der Konzentration c in Mol/l. 25° C. $a = 3{,}955$ Å; $v = 14{,}3 \cdot 10^{-23}$ cm³. ooo Meßwerte.

Fig. 2. Mittlerer Aktivitätskoeffizient von KCl in Abhängigkeit von der Wurzel aus der Konzentration c in Mol/l. 25° C. $a = 3{,}845$ Å; $v = 3{,}02 \cdot 10^{-23}$ cm³. ooo Meßwerte.

entgegengesetzt geladene Ionen sich völlig durchdringen können. Hingegen wurde bei der Formulierung des Randwertproblems immer eine charakteristische Größe a eingeführt, welche die Rolle eines mittleren Abstandes spielt, bis auf den sich alle Ionen nähern können. Uns scheint es nun konsequenter zu sein, das Verhalten elektrolytischer Lösungen auch durch eine Statistik zu beschreiben, in der die Ionen als starre Kugeln angesehen werden, die sich alle unabhängig von der Ladung gegenseitig verdrängen. Legen wir die allgemeine Verteilungsfunktion zugrunde

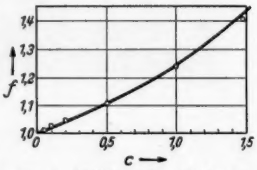


Fig. 3. Mittlerer Aktivitätskoeffizient von Rohrzucker in Abhängigkeit von der Konzentration c in Mol/l. 0 bis 25° C. $v = 33 \cdot 10^{-23}$ cm³. ooo Meßwerte.

$$n_{ji} = \frac{n_i\, e^{-\frac{e_i \psi_j}{kT}}}{1 + \sum_{\nu=1}^{m} n_\nu v_\nu \left(e^{-\frac{e_i \psi_j}{kT}} - 1\right)}, \quad (1)$$

so zeigt sich, daß der von DEBYE eingeführte Radius der Ionenatmosphäre $1/\varkappa$ erhalten bleibt. Es ergibt sich nach wie vor für $\varkappa^2$

$$\varkappa^2 = \frac{4\pi}{DkT} \sum_\nu n_\nu e_\nu^2. \quad (2)$$

In diesen Formeln bedeuten: n_{ji} die Teilchendichte der i-Ionen in der Umgebung eines j-Ions und n_ν die Konzentration der ν-Ionen; e_i Ladung der Ionen; ψ_j elektrisches Potential; k die BOLTZMANNsche Konstante; T die absolute Temperatur; v_ν Eigenvolumen der Ionen und D die Dielektrizitätskonstante des Lösungsmittels.

Bei der Berechnung des GIBBSschen Potentials aber tritt ein Zusatzglied auf, welches noch das mittlere Eigenvolumen v der Ionen enthält. Hieraus ergibt sich für den Anteil des Aktivitätskoeffizienten infolge des Kovolumens der Ionen

$$\ln f_{\varkappa v} = -\ln(1 - n v) \quad (3)$$

und für den Aktivitätskoeffizienten die Formel

$$\ln f_i = -\frac{e_i^2}{2DkT} \cdot \frac{\varkappa}{1 + a\varkappa} - \ln(1 - n v). \quad \left(n = \sum_\nu n_\nu\right). \quad (4)$$

STOKES und ROBINSON[5]) erhielten eine ähnliche halbempirische Gleichung. Der charakteristische Verlauf der Aktivitäts-

koeffizienten beruht also sowohl auf einem elektrischen als auch auf einem reinen Kovolumeneffekt. In den Fig. 1 und 2 sind die mittleren Aktivitätskoeffizienten für NaCl und KCl in Abhängigkeit von der Wurzel aus der Konzentration dargestellt. Wir sehen, daß Übereinstimmung mit dem experimentellen Befund bis etwa 4 Mol/l vorliegt.

Haben wir es mit Lösungen zu tun, bei welchen keine elektrostatische Wechselwirkung der Teilchen vorhanden ist, so verschwindet in Formel (4) der elektrostatische Anteil. Wir erhalten

$$f = 1/(1 - n v) . \qquad (5)$$

Wenden wir diese Gleichung z. B. auf eine wäßrige Lösung von Rohrzucker an, so ergibt sich gute Übereinstimmung mit dem Experiment bis etwa 1,5 Mol/l.

Über eine Anwendung dieser Statistik auf Aktivitätskoeffizienten, Diffusionsfragen und Leitfähigkeit starker Elektrolyte wird in einer ausführlichen Arbeit demnächst in den Ann. d. Phys. berichtet.

Institut für Theoretische Physik der Universität Rostock.

H. Falkenhagen und E. Schmutzer.

Eingegangen am 25. April 1953.

[1]) Dutta, M., u. S. N. Bagchi: Ind. J. Phys. **24**, No 2 (1950).
[2]) Eigen, M., u. E. Wicke: Z. Elektrochem. **56**, 551 (1952).
[3]) Falkenhagen, H., u. G. Kelbg: Ann. Physik **11**, 60 (1952).
[4]) Schlögel, R.: Z. physik. Chem. (im Druck).
[5]) Stokes, R. H., u. R. A. Robinson: J. Amer. Chem. Soc. **70**, 1870 (1948). Siehe auch Moelwyn-Hughes, E. A.: Z. Elektrochem. **55**, 518 (1951). — Rysselberghe, P. van, u. S. Eisenberg: J. Amer. Chem. Soc. **61**, 3030 (1934); **62**, 451 (1940).

Impulsbestrahlung von zusammengesetzten Photokathoden mit halbleitenden Zwischenschichten.

An Photozellen mit sog. zusammengesetzten Kathoden[1]) ist — im Gegensatz zu solchen mit rein metallischen Kathoden[2]) — die Beobachtung des Proportionalitätsgesetzes nicht möglich, weil die dort in Anwendung kommenden halbleitenden Oxydzwischenschichten die Elektronennachlieferung vom Trägermetall zur Oberfläche hin erschweren. Es wird die sog. „reversible" Ermüdung[3]) beobachtet, eine Erscheinung, welche mit der von Gudden und Pohl[4]) an lichtelektrisch leitenden Kristallen beobachteten „Erregung" sehr eng verwandt ist. Bei Sättigungsstromdichten von etwa 10^{-6} Amp/cm² ab aufwärts macht sich diese reversible Ermüdung immer störender bemerkbar. Bei sehr hohen Bestrahlungsstärken kann schließlich die „bleibende" Ermüdung hinzutreten, verursacht durch zunächst noch unübersichtliche Änderungen der Ausgangsschichtenstruktur. Wie außerordentlich stark dann die Abweichungen vom Proportionalitätsgesetz werden können, haben die Untersuchungen von Krüger und Weidert[5]) gezeigt. Von den Schwierigkeiten der Elektronennachlieferung durch die halbleitende Zwischenschicht Cs_2O (die Halbleitung kommt durch das im Oxyd atomar eingelagerte Cäsium und Silber zustande) kann man, wie Verfasser erkannt haben, freikommen, wenn man die stationäre Bestrahlung der Kathode aufgibt und zur Impulsbestrahlung übergeht. Es ist bei Anwendung dieser Methode gelungen, die Gültigkeit des Proportionalitätsgesetzes in wesentlich größeren Intensitätsbereichen, als es bei stationärer Bestrahlung möglich ist, zu bestätigen. Die verwendeten Lichtimpulse wurden der Argon-Hochdrucklampe eines Lichtblitzstroboskopes entnommen. Sie weisen eine Halbwertsbreite von 15 µs auf. Die Beleuchtungsstärke ließ sich in der Ebene der Photokathode bis auf 10^7 Lux steigern. Auf die Verwendung monochromatischen Lichts mußte verzichtet werden, um die hohen Intensitäten zu erzielen. Die spektrale Zusammensetzung der Strahlung blieb jedoch konstant, da mit Graufiltern geschwächt wurde. Zur Messung gelangte die durch die Impulsbestrahlung geweckte Impulsspannung am Serienwiderstand zur Photozelle. Diese Impulsspannung wurde über einen Breitbandverstärker auf die Meßplatten eines Kathodenstrahloszillographen gegeben. Es gelangten Vakuumphotozellen mit der Kathodenschichtenstruktur Ag—Cs_2O—Cs zur Untersuchung. Die Dicke der Zwischenschichten Cs_2O wird zu 10^{-5} cm veranschlagt.

Die an solcher Zelle mittels Impulsbestrahlung gemessenen Stromspannungskennlinien sind in Fig. 1 gezeigt. In diesem Beispiel entspricht die unterste Kurve einer Bestrahlung von $6 \cdot 10^4$ Lux, die oberste einer solchen von 10^7 Lux. Insgesamt zeigen die Kurven den üblichen Verlauf, wie er von der stationären Bestrahlung her bekannt ist. Bemerkenswert ist jedoch die Höhe der erzielbaren Photoströme. Es sind bis jetzt — ohne Schaden für die Kathodenstruktur — Emissionsströme bis zu $16 \cdot 10^{-3}$ Amp gemessen worden. Die Sättigungsimpulsströme gehorchen nun, wie aus Fig. 2 hervorgeht, im Rahmen der Meßgenauigkeit dem photoelektrischen Proportionalitätsgesetz. Es ist zu ersehen, daß dieses Gesetz noch über größere Bereiche geprüft werden kann, wenn alle Kennlinien der Fig. 1 bis zur Sättigungsspannung aufgenommen werden können. Bei solch hohen Spannungen ist dabei der Schottky-Effekt zu berücksichtigen.

Es ergibt sich insgesamt eindeutig, daß Ermüdungserscheinungen, wie sie bei gleich starker Gleichlichtbestrahlung auftreten, bei der angewendeten Impulsbestrahlung nicht feststellbar sind. Sie machen sich erst dann bemerkbar, wenn die Pausen zwischen den Lichtimpulsen zu klein werden. Wenn man ein Stroboskop mit einstellbarer Blitzfrequenz verwendet, dann läßt sich das Verhältnis derjenigen Bestrahlungsstärke und Blitzfrequenz, welches gerade noch ein ermüdungsfreies Arbeiten der Photokathode gestattet, experimentell genau bestimmen.

Verfasser vertreten die Auffassung, daß die Methode der Impulsbestrahlung gestatten wird, bei zusammengesetzten

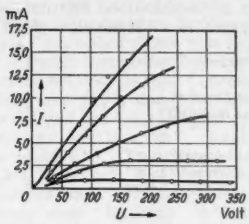


Fig. 1.

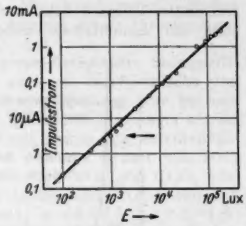


Fig. 2.

Fig. 1. Stromspannungskennlinien einer Vakuumphotozelle, Schichtentyp Ag—Cs_2O—Cs, bei einmaligen Lichtimpulsen. (Kathodenoberfläche 3 cm².)

Fig. 2. Photoelektrisches Proportionalitätsgesetz bei einmaligen Lichtimpulsen. (Der Pfeil bezeichnet die Grenze des stationären ermüdungsfreien Betriebs.)

Photokathoden genauere Aussagen über die Natur der halbleitenden Zwischenschichten zu machen, als es bei der bisher üblichen Gleichlichtbestrahlung möglich ist.

Ausführliche Mitteilungen erfolgen an anderer Stelle.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danken wir verbindlichst für die Überlassung des Lichtblitzstroboskopes.

Stuttgart, Elektrotechnisches Institut der Technischen Hochschule.

Werner Kluge und Suso Weber.

Eingegangen am 23. April 1953.

[1]) Koller, L. R.: Physic. Rev. **36**, 1641 (1930). — Kluge, W.: Physik. Z. **34**, 115 (1933).
[2]) Gudden, B.: Lichtelektrische Erscheinungen, S. 122ff. 1928. Boutry, G. A., u. P. Gillod: Phil. Mag. **28**, 163 (1939).
[3]) Boer, J. H. de, u. M. C. Teves: Z. Physik **74**, 613 (1932).
[4]) Gudden, B., u. R. W. Pohl: Z. Physik **31**, 651 (1925) und anschließende Arbeiten der Göttinger Schule.
[5]) Krüger, H., u. F. Weidert: Z. techn. Physik **20**, 50 (1939).

Zur Abnahme der Lumineszenz infolge von Elektronenbestrahlung.

Bekannt ist die Lumineszenzabnahme der Zinksilikatleuchtschirme im Laufe der Lebensdauer an Abstimmanzeigeröhren („Magische Augen"). Bei Untersuchungen über diese Erscheinung konnten die von W. Grotheer[1]) und G. Hagen[2]) in Schliffröhren an auf Glas aufgebrachten Zinksilikatleuchtschirmen gewonnenen Ergebnisse über die „Ermüdung" der Lumineszenz als Folge der Elektronenbestrahlung reproduziert werden. Bei der Durchführung gleicher Versuche an abgeschmolzenen Elektronenstrahlröhren stellte sich die an sich erwartete Tatsache heraus, daß die Lumineszenzabnahme des Zinksilikats bei Bestrahlung mit der gleichen Elektronenzahl um Größenordnungen geringer ist als im Schliffrohr (im abgeschmolzenen Rohr sind bessere Vakuumbedingungen vorhanden und Leuchtstoff sowie gläserne Unterlage von Wasserhäuten und Gasbeladungen befreit). Um den Effekt der Lumineszenzzerstörung durch Elektronenbestrahlung auch in abgeschmolzenen Röhren untersuchen zu können, mußte nach einem Leuchtstoff gesucht werden, welcher sich einerseits nach dem Ausheizen des Röhrenkolbens ohne erneuten Luftzutritt aufbringen läßt, dessen Lumineszenz andererseits durch

Elektronenbestrahlung leicht zerstört wird. Solche Leuchtstoffe sind die Halogenide der Metalle der I. und II. Gruppe des Periodischen Systems, von denen einige in Blauschriftröhren als Schirm durch Verdampfen auf ihre Unterlage aufgebracht werden. Unter diesen erwies sich Zinkfluorid, mit Mangan aktiviert, für unsere Zwecke als das geeignetste.

Mit der Abnahme der Lumineszenz tritt am Zinkfluorid eine Schwärzung auf. Es läßt sich jedoch zeigen, daß die durch diese Schwärzung hervorgerufene Absorption im Verlauf der Elektronenbestrahlung erst ungefähr 1 bis 2% erreicht hat zu einem Zeitpunkt, an welchem die Lichtemission bereits auf die Hälfte abgesunken ist. Es ist daher unwahrscheinlich, daß hier die Abnahme der Lichtemission allein auf die Bildung von Absorptionszentren zurückgeführt werden kann.

Die Abnahme der Lichtemission läßt sich jedoch gut erklären, wenn man die von I. Broser und R. Warminsky[3]) für die α-Zerstörung und von I. Broser und W. Reichardt[4]) für die Druckzerstörung der Lumineszenz von Sulfidphosphoren abgeleitete Vorstellung anwendet. Diese besagt im Rahmen des Bändermodells der Kristallphosphore, daß durch die auftreffenden Teilchen bzw. durch die mechanische Zertrümmerung der Leuchtstoffe unbesetzte tiefe Störstellen (Haftstellen, Elektronenfallen) erzeugt werden, über welche strahlungslose Übergänge der Elektronen vom Leitfähigkeitsband ins besetzte Band stattfinden. Voraussetzung für die Anwendung der von diesen Autoren aus der skizzierten Vorstellung abgeleiteten Gl. (1) ist, daß die Lumineszenz sowohl des unzerstörten als auch des zerstörten Kristalls der Zahl der „anregenden" Teilchen proportional ist. Wir konnten dies in unserem Falle experimentell nachweisen.

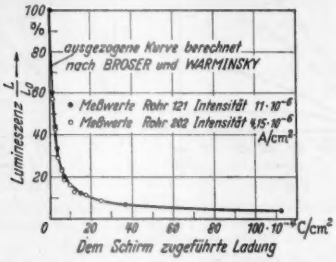


Fig. 1. Abnahme der Lumineszenz als Folge der Elektronenbestrahlung am Zinkfluorid in abgeschmolzenen Rohren.

In der Fig. 1 sind die an den Zinkfluoridleuchtschirmen zweier abgeschmolzener Röhren gewonnenen Meßergebnisse aufgetragen, nämlich die Lumineszenz als Funktion der Zahl der auftreffenden „zerstörenden" Strahlelektronen. Die ausgezogene Kurve ist berechnet nach der von Broser und Warminsky[3]) abgeleiteten Gleichung:

$$\frac{L}{L_0} = 1 - \ln\left(1 + \frac{\beta Z_0}{\delta p N}\right)^{\frac{\delta p N}{\beta Z_0}}. \qquad (1)$$

Der Zahl N der auftreffenden Teilchen entspricht in unserem Fall die Zahl der auftreffenden Strahlelektronen je cm². L_0 bzw. L bedeuten die Lumineszenz vor der Zerstörung bzw. im Laufe der Zerstörung. β und δ sind Stoffkonstanten, Z_0 die durch ein Strahlelektron erzeugte Anfangserregungsdichte und p eine Proportionalitätskonstante zwischen der Zahl der erzeugten tiefen Störterme und der zu ihrer Erzeugung führenden Zahl N der Strahlelektronen.

Auf Grund der guten Übereinstimmung von experimentellen Werten und theoretischem Kurvenverlauf darf wohl als Ursache für die Abnahme der Kathodolumineszenz, zum mindesten am Zinkfluorid, die Bildung von tiefen unbesetzten Störtermen als mittelbare oder unmittelbare Wirkung der einfallenden Strahlelektronen angesehen werden; über diese Störterme erfolgen dann monomolekulare strahlungslose Elektronenübergänge.

Standard Laboratorium der C. Lorenz AG., Werk Eßlingen.
K. H. Jürgen Rottgardt.

Eingegangen am 9. April 1953.

[1]) Grotheer, W.: Z. Physik 112, 541 (1939).
[2]) Hagen, G.: Physik. Z. 40, 634 (1939).
[3]) Broser, I., u. R. Warminsky: Z. Naturforsch. 6a, 85 (1951).
[4]) Broser, I., u. W. Reichardt: Z. Physik 134, 222 (1953).

Über Metallpotentiale.

Unsere weiteren Untersuchungen über den Einfluß von Anionen auf das Potential von Metallelektroden[1]) führten zu folgenden Ergebnissen und Anschauungen:

1. Zwischen Metallionen, Anionen und Lösungsmittel bilden sich verschiedene Komplexe, die untereinander im Gleichgewicht stehen. Das elektrochemische Potential wird von allen einfachen und komplexen Ionen bestimmt, die Potentiale sind untereinander gleich.

2. Die einzelnen Molekelgattungen beteiligen sich an der Potentialbildung hauptsächlich nach Maßgabe ihrer Gleichgewichtskonzentrationen und ihrer noch wenig bekannten Normalpotentiale.

3. Die Bildung und Entladung von Ionen an einer Elektrode ist unabhängig davon, ob der Ionenkomplex positiv oder negativ geladen oder neutral ist. Entscheidend ist die Ladung des Zentralions.

4. Für ein schnelles Erkennen der Koordinationszahl der Komplexe in Lösung hat es sich als zweckmäßig erwiesen, direkt die Konzentration des Komplexbildners im logarithmischen Maßstab gegen das Elektrodenpotential aufzutragen. Aus der wechselnden Steigung der Potentialkurve ergeben sich die Koordinationszahlen.

5. Zwischen gleichen Metallelektroden, die in zwei aneinander grenzende flüssige Phasen tauchen, in denen ein dem Metall der Elektrode entsprechendes Salz gelöst ist, ist keine Potentialdifferenz zu beobachten, wenn die beiden flüssigen Phasen miteinander im Gleichgewicht stehen. Diese Beobachtung unterstützt unsere Auffassung unter 2., 3. und 4. wesentlich.

Die Untersuchungen werden fortgeführt und später ausführlich veröffentlicht werden.

Aus dem Institut für Technische Chemie der Technischen Universität Berlin-Charlottenburg.
Jean D'Ans, Walter Breckheimer und Wolfgang Bartsch.

Eingegangen am 23. Mai 1953.

[1]) D'Ans, J., u. W. Breckheimer: Z. Elektrochem. 56, 594 (1952).

Sur la corrosion des faces 111 de cristaux de chlorure d'argent.

Récemment, des observations microscopiques et interférométriques des faces cristallines plus ou moins corrodées ont mis en évidence le rôle prépondérant des imperfections du réseau dans le processus de la corrosion[1]). En effet, quand l'attaque est suffisamment faible, la dissolution s'effectue aux points d'émergence de dislocations en hélice et le long des gradins qui y sont rattachés; le long de fronts de croissance et suivant les joints de blocs polygonaux ou mosaïques qui sont à considérer comme des assemblages de dislocations.

Que cette attaque préférentielle peut ainsi mettre en évidence les particularités d'une face, ainsi que sa microtexture, est particulièrement bien illustré par des cristaux de chlorure d'argent qui se sont lentement formés en milieu amoniacal.

Ces cristaux, qui se développent en général sous forme de plaquettes suivant (111), ne présentent aucune trace observable de fronts de croissance si on les enlève de la solution quelque peu avant l'arrêt de la croissance. Dans le cas contraire, les fluctuations de température provoquent une attaque très faible des faces (111) par l'amoniaque, ce qui met en évidence un ensemble de figures dont les plus visibles présentent l'aspect représenté par les fig. 1a et 1b.

On y distingue des points noirs tels que A, qui sont, comme l'interférométrie le prouve, des figures de corrosion relativement profondes; on peut logiquement admettre qu'elles se sont développées au point d'émergence de dislocations. Ces points sont reliés par des „fronts" curvi- ou rectilignes qui ont, du moins les plus visibles, un aspect plus ou moins polygonal. Les parties rectilignes sont en rapport avec des directions cristallographiques. Ces fronts sont, croyons nous, ou des chenaux de dissolution, ou des gradins bordés d'un chenal de dissolution. Cette distinction peut se faire, d'une part par interférométrie, d'autre part par le fait que de l'argent photolytique se dépose le long des gradins et dans les chenaux[2]). Dans ce dernier cas, un interféromètre est formé et des franges peu définies sont formées, qu'on peut toutefois résoudre sous certaines conditions critiques d'observation. Dans le cas où des gradins sont présents, ceux-ci seraient attachés à des dislocations en hélice, dans le cas où il y a seulement un chenal, celui-ci serait dû à la dissolution

le long de rangées de dislocations TAYLOR-OROWAN délimitant des zones polygonisées.

A l'intérieur des polygones décrits, l'observation révèle une multitude de domaines analogues, fermés ou non, mais beaucoup plus petits. En B certains détails en sont visibles sur le cliché.

Que la topographie de la face est extrêmement compliquée est indiqué par la fig. 2b qui montre la complexité des franges d'interférence. Vu les faibles dimensions des cristaux, celles-ci ont été réalisées par la méthode indiquée par TOLANSKY et OMAR. Les franges non fermées du centre révèlent des parties extrêmement obliques par rapport à la face. Peu de données quantitatives précises en ont pu être obtenues.

A titre de comparaison et de contrôle, une surface d'un cristal de bromure d'argent obtenu par fusion et soigneusement recuit a été très faiblement attaquée (fig. 2a). On voit ici nettement, en certains endroits, que les lignes de polygonisation sont constitués par des figures de corrosion extrêmement

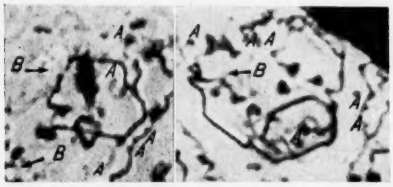


Fig. 1a. Fig. 1b.

Fig. 1a. Corrosion sur face (111) d'AgCl.

Fig. 1b. Corrosion sur face (111) d'AgCl.

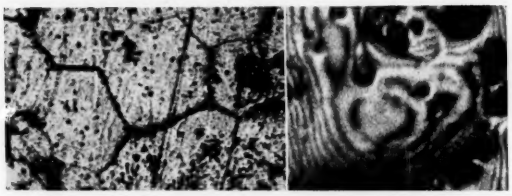


Fig. 2a. Fig. 2b.

Fig. 2a. Corrosion de la surface d'un monocristal d'AgBr.

Fig. 2b. Interférogramme d'une partie corrodée d'une face (111) d'AgCl.

serrées, produites au point d'émergence de dislocations, que HEDGES et MITCHELL[3]) ont pu rendre visible à l'intérieur d'un tel cristal. Les contours présentent des franges dues au dépôt d'argent photolytique. Cet effet est dans une large mesure responsable pour la visibilité de ces phénomènes, ainsi que pour celle (bien moindre) de la sous-structure extrêmement serrée qui est présente à l'intérieur des polygones.

Ce travail a été effectué sous les auspices de l'I.R.S.I.A.

Laboratorium voor Kristalkunde, Rozier, 6, Gent (Belgique).
W. VAN DER VORST et W. DEKEYSER.

Eingegangen am 25. April 1953.

[1]) FRANK, F. C.: Discuss. Faraday Soc. **5**, 74 (1949). — SHOCKLEY, W., et W. T. READ: Physic. Rev. **79**, 722 (1950). — HORN, F. H., E. F. FULLAM et J. S. KASPER: Nature [London] **169**, 927 (1952). — TOLANSKY, S., et M. OMAR: Philos. Mag. **43**, 750 (1952). — VERMA, A. R.: Proc. Physic. Soc., B **65**, 806 (1952). — GEVERS, R., S. AMELINCKX et W. DEKEYSER: Naturwiss. **39**, 448 (1952). — GEVERS, R.: Nature [London] **171**, 171 (1953). — GEVERS, R.: J. Chim. Phys. **1953** (sous presse). — HORN, F. H.: Philos. Mag. **43**, 1210 (1952).

[2]) HAYNES, J. R., et W. SHOCKLEY: Bristol Conf. Strength Sol. **1947**, 151.

[3]) HEDGES, J. M., et J. W. MITCHELL: Philos. Mag. **44**, 233 (1953).

Über Chromoxyde zwischen Cr_2O_3 und CrO_3.

Die Chromoxydphasen zwischen Cr_2O_3 und CrO_3 sind in ihrer Existenz noch nicht sichergestellt. Durch thermische Zersetzung von CrO_3 im Vakuum erhielten SIMON und SCHMIDT[1]) Cr_5O_{12} und Cr_5O_{13}, SCHWARTZ, FANKUCHEN und WARD[2]) Cr_3O_8 und Cr_2O_5, während durch Druckmessungen RYSS und SELYANSKAJA[3]) Cr_5O_{13}, Cr_8O_{21}, Cr_7O_{18} und Cr_5O_{12} darstellten. CAMERON, HARBARD und KING[4]) beschrieben $CrO_{3,6-2,2}$ und $CrO_{1,9-1,7}$; hingegen fand VASENIN[5]) nur Cr_2O_5. MICHEL und BENARD[6]) gewannen beim thermischen Zerfall von CrO_2Cl_2 ein schwarzes Reaktionsprodukt, das sich als Gemisch von ferromagnetischem, im Rutiltyp kristallisierendem CrO_2 und Cr_2O_3 herausstellte.

Wir haben den Abbau von CrO_3 im Sauerstoffstrom durchgeführt und nach verschiedenen analytischen Verfahren, durch röntgenographische Untersuchungen und magnetische Messungen[7]) die erhaltenen Präparate charakterisiert. Im Temperaturbereich von 270 bis 320° C ist $CrO_{3,6}$ existent; eine Phasenbreite wurde nicht festgestellt. Ab 320 bis 360° C findet sich eine weitere Phase, deren analytische Zusammensetzung zwischen $CrO_{3,4}$ und $CrO_{2,48}$ schwankt. Vermutlich liegt hier ein Homogenitätsbereich vor, der sich aber auf Grund der vorliegenden Ergebnisse noch nicht genau festlegen läßt. Die magnetischen Suszeptibilitäten steigen bei den ab 340° C anfallenden Produkten schnell an und nehmen auch nicht ab, wenn die Zusammensetzung $CrO_{1,56}$ bei 420° C erreicht ist. Dies ist offensichtlich auf eine Beimengung von ferromagnetischem CrO_2 zurückzuführen, da dieses Oxyd, wie wir feststellten, bis 500° C beständig ist. Manchmal treten auch bei diesen Präparaten im Röntgendiagramm einige Interferenzen von CrO_2 neben denen von Cr_2O_3 auf.

Durch thermische Zersetzung von CrO_2Cl_2 im Sauerstoffstrom bei 360 bis 400° C haben auch wir nur Gemische von CrO_2 und Cr_2O_3 darstellen können. Allerdings war bei uns der Anteil des beigemengten Cr_2O_3 wesentlich geringer als bei MICHEL und BENARD[6]). Analytisch wurde das Zersetzungsprodukt $CrO_{1,9}$ ermittelt, woraus sich ein Gehalt von 80% CrO_2 errechnet, wenn im Gemisch nur CrO_2 und Cr_2O_3 vorhanden sind. Die Röntgeninterferenzen von CrO_2 lassen sich nach dem Rutiltyp indizieren: $a = 4{,}41$ Å; $c = 2{,}91$ Å; $V = 56{,}6$ Å^3; $z = 1{,}96$; pyknometrisch bestimmte Dichte $d_4^{20} = 4{,}80$; $d_R = 4{,}90$.

Nach den vorliegenden Ergebnissen schlagen wir folgende Phasenbezeichnung vor:

α-Phase: CrO_3, δ-Phase: CrO_2,
β-Phase: Cr_5O_{13} ($CrO_{2,6}$), ε-Phase: Cr_2O_3.
γ-Phase: $CrO_{2,4-2,48}$,

Die ausführliche Veröffentlichung erfolgt in der Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft und dem „Fonds der Chemie" danken wir für Unterstützung.

Göttingen, Anorganisch-Chemisches Institut der Universität.
O. GLEMSER, U. HAUSCHILD und F. TRÜPEL.

Eingegangen am 16. Mai 1953.

[1]) SIMON, A., u. TH. SCHMIDT: Z. anorg. allg. Chem. **153**, 191 (1926).

[2]) SCHWARTZ, R. S., I. FANKUCHEN u. R. WARD: J. Amer. Chem. Soc. **74**, 1676 (1952).

[3]) RYSS, J. G., u. A. I. SELYANSKAYA: Acta physiochim. USSR. **8**, 623 (1938).

[4]) CAMERON, A., E. H. HARBARD u. A. KING: J. Chem. Soc. **1939**, 55.

[5]) VASENIN, F. I.: J. gen. Chem. USSR. **17**, 451 (1947).

[6]) MICHEL, A., u. J. BENARD: C. r. hebd. Séances Acad. Sci. **200**, 1316 (1935).

[7]) Herrn Prof. Dr. W. KLEMM, Münster, und Herrn Dozent Dr. P. EHRLICH, Hannover, danken wir sehr für die Durchführung der magnetischen Messungen.

Über den 5-Hydroxytryptamin (Enteramin-, Serotonin-) Gehalt des Serums und des Milzgewebes bei Wirbeltieren sowie der Hämolymphe bei Octopoden.

Die einzigen quantitativen Angaben über den Enteramingehalt des Serums verdanken wir RAPPORT und Mitarbeitern[1]) und REID[2]).

Die ersten Verfasser konnten für das Rinderserum eine gefäßverengernde Aktivität feststellen, welche 100 bis 600 Serotonin-Einheiten, d.h. 1 bis 6 γ Serotonin-Creatinin-Sulfat pro cm^3 Serum, entsprach. Der australische Forscher fand bei drei verschiedenen Katzensera 5-Hydroxytryptaminwerte von 1,5, 3 und 4 γ pro cm^3 Serum.

Das zirkulierende Enteramin ist, mindestens zum größten Teil, in den Thrombozyten enthalten[3]).

Die in der vorliegenden Mitteilung tabellarisch wiedergegebenen Daten betreffen den Enteramingehalt (als Enteramin-Base ausgedrückt) des Serums von 32 Wirbeltierarten, des Milzgewebes von 24 Wirbeltierarten und der Hämolymphe von 3 Octopodenarten. Eingeklammert steht die Anzahl der für jede Tierart untersuchten Individuen.

Da das Milzenteramin vermutlich nichts anderes darstellt als Blutenteramin, welches bei der Hämokatherese in der Milz von den Thrombozyten freigesetzt wird und sich irgendwie in diesem Organ speichert, so wurden Enteramingehalt des Serums und der Milz zusammen in Betracht gezogen und miteinander verglichen.

Die Blut- bzw. Hämolympheproben wurden nach 3 bis 5stündigem Stehen bei Zimmertemperatur für weitere 16 bis 20 Std im Eisschrank aufbewahrt. Die erhaltenen Sera wurden mit 4 Vol Aceton versetzt, das Gemisch gut geschüttelt und nach einigen Stunden abfiltriert.

Anteile des klaren Filtrates wurden nun i.v. eingeengt und zum erwünschten Volumen (1 cm^3 = 0,2 bis 1 cm^3 Serum) mit Phosphatpuffer bei p_H 7,4 gebracht. Nach Erwärmen auf dem siedenden Wasserbad für 5 min, zwecks Aktivierung des eventuell vorhandenen inaktiven I-Enteramins, sind die Extrakte bereit für die biologische Titrierung.

Das lebensfrische Milzgewebe wurde zweimal mit 3 bis 4 Vol Aceton extrahiert und die vereinigten Filtrate wie oben weiter behandelt.

Als Testobjekt wurde in allen unseren Bestimmungen der atropinisierte brünstige Rattenuterus verwendet. Ein gutes Präparat reagiert regelmäßig schon auf 0,002 bis 0,004 γ Enteramin-Base pro cm^3 Badflüssigkeit.

Sämtliche unbekannten Extrakte wurden gegen Lösungen von reinem Enteraminpikrat „Farmitalia" (1 mg = 0,41 mg Enteramin-Base) ausgewertet.

Tabelle 1. *Enteramingehalt.*

	Serum (γ/cm^3)		Milzgewebe (γ/g)	
	Mittelwerte	Grenzwerte	Mittelwerte	Grenzwerte
Mensch				
neugeboren	0,07 (3)	0,06—0,09	—	—
20 bis 25 Jahre alt	0,12 (14)	0,07—0,20	—	—
60 bis 90 Jahre alt	0,09 (16)	0,03—0,15	—	—
Rind	1,48 (9)	0,61—2,60	7,80 (3)	6,14— 8,91
Ziege	2,18 (6)	1,72—3,28	4,80 (2)	4,70— 4,90
Schaf	0,85 (4)	0,36—1,45	3,80 (4)	1,48— 6,80
Pferd	0,41 (8)	0,25—0,82	1,76 (3)	1,23— 2,60
Esel	0,41 (3)	0,28—0,49	3,10 (1)	—
Schwein	0,26 (5)	0,14—0,37	1,23 (4)	0,82— 2,21
Hund	0,21 (10)	0,08—0,57	1,40 (7)	0,61— 2,05
Katze	3,80 (5)	1,24—7,40	8,40 (4)	5,74—10,49
Kaninchen	3,53 (12)	1,80—5,57	19,60 (5)	16,40—22,50
Meerschweinchen	0,21 (10)	0,07—0,27	1,06 (7)	0,25— 1,65
Ratte	0,97 (35)	0,57—1,72	2,80 (30)	—
Maus	1,48 (10)	—	1,80 (10)	—
Hamster	0,37 (3)	0,35—0,41	—	—
Fledermaus (*Rinolophus ferrum eq.*)	3,56 (16)	—	18,90 (16)	—
Igel	1,84 (3)	0,76—2,68	1,80 (3)	0,82— 2,56
Huhn	2,75 (15)	2,26—3,65	12,54 (7)	8,60—18,45
Afrikanische Henne	2,66 (2)	2,00—3,32	—	—
Truthenne	0,11 (3)	0,09—0,13	—	—
Ente	1,16 (1)	—	4,10 (1)	—
Taube	0,33 (7)	—	—	—
Möve	0,69 (1)	—	—	—
Wasserschlange	0,41 (37)	—	0,16 (37)	—
Schildkröte	0,01 (1)	—	0,01 (1)	—
Frosch	0,18 (40)	—	0,08 (40)	—
Kröte	<0,02 (16)	—	—	—
Scylliorhinus stellaris	<0,04 (2)	—	<0,06 (2)	—
Scylliorhinus canicula	<0,02 (5)	—	<0,06 (5)	—
Torpedo marmorata	<0,02 (1)	—	<0,06 (1)	—
Aal	<0,05 (5)	—	<0,05 (5)	—
Schleie	<0,04 (8)	—	<0,05 (8)	—
Lamprete	<0,05 (45)	—	—	—
Octopus vulgaris	<0,04 (3)*	—	—	—
Octopus macropus	<0,04 (3)*	—	—	—
Eledone moschata	<0,04 (3)*	—	—	—

* Hämolymphe.

Aus der Tabelle 1 ist der Enteramingehalt des Vollblutes leicht zu berechnen und daraus das Blutenteramin pro kg Körpergewicht. Für einige der in Betracht gezogenen Tierarten wurden, pro kg Körpergewicht, folgende Milzenteraminmengen festgestellt: Hund 8,6 γ, Katze 16,6 γ, Kaninchen 5,8 γ, Meerschweinchen 1,64 γ, Ratte 11,0 γ, Maus 15,6 γ, Fledermaus 32,0 γ, Igel 8,3 γ, Huhn 18,8 γ, Ente 1,9 γ.

In der Arbeit *in extenso* werden wir unsere Befunde eingehend diskutieren. Hier sei nur erwähnt, daß es uns gelungen ist, einwandfrei zu beweisen, daß der uteruserregende Serumstoff sicher mit Enteramin und praktisch nur mit Enteramin zu identifizieren ist. In der Tat:

1. Das Vorhandensein von Enteramin im Rinder-, Kaninchen- und Hühnerserum wurde von uns auch durch die papierchromatographische Untersuchung festgestellt, nicht aber im Menschen-, Hunde- und Meerschweinchenserum noch in der Hämolymphe der Octopoden.

2. Die uteruserregende Wirkung ist vollkommen aufgehoben nach Vorbehandlung der Serumauszüge mit Formol, Diazoniumsalzen, Kaliumjodat und Aminoxidase (Phosphatextrakte aus Meerschweinchendarm oder Leber) oder nach Zufügen von Dibenamin zur Badflüssigkeit. Bei dieser Gelegenheit möchten wir daran erinnern, daß das Dibenamin die uterusstimulierende Wirkung des Enteramins vollkommen hindert, während es diejenige des Acetylcholins, der Hypophysenhinterlappenextrakte, des Angiotonins und der Adenosintriphosphorsäure praktisch unbeeinflußt läßt[4]).

Histamin kommt nicht in Frage, da dieser Stoff den Rattenuterus hemmt; dasselbe gilt für Pepsiantidiurin[5]), welches durch seine eigentümlichen Eigenschaften vom Enteramin scharf abgrenzbar ist.

3. Die verschiedenen Sera zeigen eine diuresehemmende Wirkung, die auf befriedigende Weise der uteruserregenden Wirkung proportional ist.

Pharmakologisches Institut der Universität Bari, Italien.
V. Erspamer und R. Faustini.

Eingegangen am 30. April 1953.

[1]) Rapport, M. M., A. A. Green u. J. H. Page: J. of Biol. Chem. **174**, 735 (1948); **176**, 1237 (1948).
[2]) Reid, G.: J. Physiology **118**, 435 (1952).
[3]) Rand, M., u. G. Reid: Nature [London] **168**, 385 (1951). — Austral. J. Exp. Biol. **29**, 401 (1951).
[4]) Erspamer, V.: Ric. sci. **22**, 1568 (1952). — Arch. int. Pharmacodynam. (im Druck).
[5]) Croxatto, H., G. Rojas u. L. Barnafi: Bol. Soc. Biol. Santiago **8**, 84 (1950). — Acta Physiol. Lat.-Amer. **2**, 178 (1951). — Science [Lancaster, Pa.] **113**, 494 (1951).

Über den 5-Hydroxytryptamin-(Enteramin-)Gehalt des Magen-Darmtraktes bei den Wirbeltieren.

Diese Mitteilung beschäftigt sich mit dem Enteramingehalt des Magen-Darmtraktes bei 22 Wirbeltierarten. In der vorhergehenden Mitteilung[1]) wurde über den Enteramingehalt des Blutserums und der Milz berichtet.

Der Magen-Darmkanal wurde sofort nach dem Tode des Tieres entnommen, der Länge nach geöffnet, gründlich unter fließendem Wasser gewaschen, mit Filterpapier oder Gaze abgewischt, gewogen, mit der Schere zerkleinert und sofort mit 3 bis 4 Vol Aceton behandelt. Nach 24 Std wurde die Flüssigkeit dekantiert und das Gewebe noch ein zweites Mal mit Aceton extrahiert.

Die vereinigten Extrakte wurden abfiltriert und im Eisschrank aufbewahrt. Zur biologischen Wertbestimmung wurden Anteile der Flüssigkeiten i. v. eingeengt, mit Phosphatpuffer von p_H 7,4 passend verdünnt und auf dem siedenden Wasserbad für 5 bis 10 min gekocht.

Biologisches Testobjekt: Atropinisierter brünstiger Rattenuterus.

Es ergaben sich folgende Mittelwerte, wobei der Enteramingehalt, in γ pro g frischen Gewebes, als Enteramin-Base ausgedrückt wurde. Eingeklammert steht die Zahl der für jede Tierart in Betracht gezogenen Individuen.

Hund (3): Magen 5,2; Dünndarm erstes Zehntel 4,7; viertes Zehntel 2,7; siebentes Zehntel 3,5; letztes Zehntel 4,1; Dickdarm 2,8.

Katze (3): Magen 0,45; Dünndarm erste Hälfte 0,88; zweite Hälfte 0,53; Dickdarm 1,19.

Kaninchen (3): Magen Fundusregion 4,9; Magen Pylorusregion 0,85; Dünndarm erste Hälfte 3,3; zweite Hälfte 3,7; Dickdarm 2,7.

Meerschweinchen (5): Magen 1,4; Dünndarm erstes Drittel 5,0; zweites und letztes Drittel 3,4; Dickdarm 0,7.

Ratte (10): Magen 1,4; Dünndarm 1,2; Dickdarm 3,86.

Maus (10): Magen 8,85; Dünndarm 1,6; Dickdarm 3,1.

Fledermaus (11): Magen-Darmtrakt 1,6.

Igel (3): Magen 6,3; Darmkanal erste Hälfte 3,9; zweite Hälfte 2,8.

Huhn (5): Magenschleimhaut 1,4; Dünndarm erstes Drittel 4,8; zweites Drittel 5,0; letztes Drittel 4,1; Dickdarm 4,1.

Ente (1): Dünndarm erste Hälfte 3,1; zweite Hälfte 4,1; Dickdarm 3,6.

Taube (3): Darmkanal erste Hälfte 1,2; zweite Hälfte 1,0.

Schildkröte (1): Magen-Darmtrakt 3,2.

Kröte (15): Magen 2,2; Darm 1,6.
Bombinator pachypus (65): Magen 1,0; Darm 0,75.
Scylliorhinus stellaris (2): Magen 0,3; Darm 2,3.
Scylliorhinus canicula (6): Magen 0,6; Darm 2,6.
Torpedo marmorata (1): Magen 1,35; Darm 2,5.
Amiurus catus (17): Magen 0,3(?); Darm <0,4(?).
Anguilla vulgaris (5): Magen-Darmtrakt 0,3(?).
Schleie (8): Magen-Darmtrakt <0,2(?).
Petromyzon planeri (Ammocoetes) (45): Magen-Darmtrakt <0,2(?).

Mensch: Die angegebenen Werte betreffen Operationsmaterial. Es wurde nur die Schleimhaut extrahiert. Magen Fundusregion 0,6 bis 1,7; Magen Pylorusregion 1,6 bis 3,9; Duodenum (erste 5 bis 10 cm) 3,9 bis 6,4; Colon 2,7 bis 7,0; Appendix 0,9; Rektum 1,1 bis 6,8; Gallenblase <0,15.

Über den Enteramingehalt des Magen-Darmtraktes verschiedener Tierarten, berechnet auf kg Körpergewicht, gibt die begleitende Tabelle 1 Auskunft.

Tabelle 1.

	Enteramingehalt (γ/kg)			
	Magen	Dünndarm	Dickdarm	Total
Hund	41,9	86,4	13,3	141,6
Katze	3,5	27,4	7,5	38,4
Kaninchen	44,2	113,6	84,8	242,6
Meerschweinchen	13,2	109,4	19,6	142,2
Ratte	11,7	24,6	43,8	80,1
Maus	97,4	119,0	69,2	285,6
Igel	61,5	112,7	70,2	244,4
Huhn	3,9	152,1	36,9	192,9
Ente	—	86,4	18,0	104,4
Kröte	36,9	27,9		64,8
Scylliorhinus canicula	12,3	54,4		66,7
Torpedo marmorata	35,2	41,0		76,2

Die nun erhaltenen Werte stimmen sehr gut mit den für den Hund und das Kaninchen neuerdings von FELDBERG und TOH[2]) angegebenen und auch mit den relativen Werten überein, die schon vor Jahren von uns[3]) festgestellt worden waren.

Für eine eingehende Diskussion der in dieser und in der vorigen Mitteilung erhobenen Befunde verweisen wir an die bald erscheinende Arbeit *in extenso*.

Hier sei nur betont, daß die nun zur Verfügung stehenden quantitativen Daten über den Enteramingehalt des Blutes, der Milz und des Magen-Darmtraktes bei einer ziemlich großen Anzahl von Wirbeltierarten von entscheidender Wichtigkeit zu sein scheinen für das Verstehen der physiologischen Bedeutung des Enteramins.

Pharmakologisches Institut der Universität Bari, Italien.

V. ERSPAMER.

Eingegangen am 2. Mai 1953.

[1]) ERSPAMER, V., u. R. FAUSTINI: Naturwiss. **40**, 317 (1953).
[2]) FELDBERG, W., u. C. C. TOH: J. of Physiol. **119**, 352 (1953).
[3]) ERSPAMER, V.: Arch. exp. Path. u. Pharmakol. **196**, 343 (1940).

Ein einfacher Nachweis der durch tierische Gewebe, Homogenate, Gewebssäfte und Proteine bewirkten Polymerisation von monomerem Acrylamid zu Polyacrylamid.

Acrylamid wurde von WILKE und GENSEL[1]) als infolge seiner Wasserlöslichkeit besonders geeignet in das biochemische Experiment eingeführt. Zur Pathogenese der Hirnschwellung durchgeführte Versuche zeigten die katalysierende Wirkung von Hirn- und Lebergewebe auf den Polymerisationsvorgang von Acrylamid. Sie begründeten die Vorstellung, daß der zur Hirnschwellung führende Vorgang mit Bildung hochmolekularer mehr oder weniger *vernetzter* Substanzen einhergeht[2]). Die Auslösung der Polymerisation von Methylmethacrylat durch enzymatische Systeme wie B. coli in Ameisensäure und Xanthinoxydase in Formaldehyd hat PARRAVANO[3]) festgestellt. DRUCKREY, CONSBRUCH und SCHMÄHL[4]) haben beobachtet, daß Sole von Proteinen mit monomerem Acrylamid zu relativ festen Gelen erstarren. Sie vermuten, daß das „bifunktionelle" Acrylamid von aktiven Gruppen der Proteine gebunden wird und so zu inner- oder zwischenmolekularen Vernetzungen führt, die das Erstarren der Ansätze zur Folge haben. Andererseits halten sie eine Polymerisation des Acrylamids am Eiweiß oder mit diesem oder eine Bildung von Mischpolymerisaten für denkbar. Als „Test" wurde von ihnen das „Erstarren" der Lösungen zum Gel benutzt. Die Erstarrungsprodukte erwiesen sich durch Wasserstoffsuperoxyd „spaltbar".

Während der Nachweis einer schon von uns vermuteten, mit der Polymerisation verbundenen Vernetzung in Gewebs- oder entsprechenden Proteinansätzen schwieriger zu führen ist, läßt sich die Polymerisation von monomerem Acrylamid zu Polyacrylamid bei allen diesen Versuchen mit einer relativ einfachen Methode zeigen und verfolgen. Das gelingt besonders leicht, wenn man den Vorgang der „Erstarrung zum Gel" nicht abwartet, sondern den Versuch schon bei zunehmender Viskosität unterbricht.

Polyacrylamid ist in Wasser und noch leichter in Wasserstoffsuperoxyd löslich. Im Überschuß von Methylalkohol wird Polyacrylamid ausgefällt. Der Vorgang ist reversibel.

Bereits nicht völlig mit monomerem Acrylamid erstarrte Ansätze von Proteinen oder Gewebshomogenaten ergeben im Überschuß von Methanol einen dicken Niederschlag. Bei Zugabe von Wasser oder noch schneller bei Zugabe von Wasserstoffsuperoxyd wird das Polyacrylamid wieder gelöst, während das mit Methanol gefällte Eiweiß zunächst noch unlöslich und abfiltrierbar ist. Im Filtrat ist Polyacrylamid im Überschuß von Methanol durch Trübung oder Fällung nachweisbar und läßt sich reversibel in Wasser oder Wasserstoffsuperoxyd wieder lösen.

Aus „erstarrten" Ansätzen läßt sich das Polyacrylamid relativ schnell durch Wasserstoffsuperoxyd, langsamer durch Wasser herauslösen und mit dem Methanoltest nachweisen, soweit nicht wie bei älteren Ansätzen eine Vernetzung dieses verhindert. Wir haben in unseren „erstarrten" Ansätzen von Hirn- und Lebergewebe noch nach 2 Jahren durch wäßrige Extraktion Polyacrylamid mit dieser Methode nachweisen können.

Beim „Erstarren" der Systeme handelt es sich demnach nicht nur um eine Vernetzungsreaktion des Acrylamids mit Proteinen, sondern zum großen Teil um eine reine Bildung von Polyacrylamid. Die Beobachtung von DRUCKREY und Mitarbeitern, daß die Ninhydrin-Reaktion nach dem Erstarren der Ansätze noch stark positiv ist und dann erst im Verlaufe von Tagen oder Wochen negativ wird, kann so gedeutet werden, daß die zunächst eintretende, bereits zur Erstarrung führende Hauptreaktion vorwiegend eine Polymerisation des monomeren Acrylamids zu Polyacrylamid ist, das sich anschließend mit dem Protein, aber auch nur teilweise, vernetzt.

Als zweckmäßig erweist sich, während der Versuche, besonders der „Lösungs-" bzw. „Spaltungsversuche", stets eine Kontrolle der im Versuch verwendeten Acrylamidlösung mitlaufen zu lassen. Man kann mit dem Methanoltest sehr leicht eine etwa schon durch Wasserstoffsuperoxyd vorzeitig bewirkte Polymerisation in der Kontrolle verfolgen. Im Gegensatz zu der Mitteilung von DRUCKREY und Mitarbeitern ist bekannt, daß Wasserstoffsuperoxyd und andere Perverbindungen, wie z.B. Kaliumpersulfat, die Polymerisation von Acrylamid auslösen können. Andererseits kann Wasserstoffsuperoxyd in *Abhängigkeit von seiner Konzentration* auch eine *depolymerisierende* Wirkung auf reines Polyacrylamid ausüben, wie sich mit der Methode zeigen läßt.

Die beschriebene „Test"-Methode ist geeignet, je nach Trübungsgrad bzw. Stärke der Ausfällung einen Einblick zu geben in den Grad der durch tierische Gewebe, Homogenate, Gewebssäfte und Proteine bewirkten Polymerisation von monomerem Acrylamid zu Polyacrylamid. (Ausführliche Veröffentlichung erfolgt an anderer Stelle.)

Max-Planck-Institut für Hirnforschung, Neuropathologische Abteilung in Gießen.

GÜNTHER WILKE.

Eingegangen am 13. Mai 1953.

[1]) WILKE, G., u. H. GENSEL: Naturwiss. **38**, 532 (1951).
[2]) WILKE, G., u. H. GENSEL: Arch. f. Psychiatr. u. Z. Neur. **187**, 424 (1952). — WILKE, G.: Dtsch. Z. Nervenheilk. **168**, 459 (1952).
[3]) PARRAVANO, G.: J. Amer. Chem. Soc. **73**, 183 (1951).
[4]) DRUCKREY, H., U. CONSBRUCH u. D. SCHMÄHL: Z. Naturforsch. **8b**, 145 (1953).

Über die Kavitationswirkungen an Bakterien.

Mit Kavitation wird die Entstehung und das plötzliche Verschwinden von dampfgefüllten Hohlräumen in Flüssigkeiten bezeichnet, welches sich einstellt, wenn der zur Temperatur gehörige Sattdampfdruck erreicht und wieder verlassen wird[1]). Dissolutions- und Kondensationsvorgänge gelöster Gase (Pseudokavitation) sowie Resonanzschwingungen

von Bläschen im stehenden Schallfeld spielen dabei ebenfalls eine Rolle. Der Schwingungskavitation wird für eine Reihe von Ultraschalleffekten in Flüssigkeiten eine große und teils entscheidende Bedeutung beigemessen[2]). Die Strömungskavitation kann zu erheblichen Materialanfressungen führen[3]) und setzt der Schnelläufigkeit hydraulischer Maschinen gewisse Grenzen[4]).

Auf Grund von Untersuchungen der Einwirkung von Strömungskavitation auf Bakterien[5]) waren wir zu dem Schluß gekommen, daß in einem durch räumlich und zeitlich unregelmäßig verteilte Implosionsstöße entstehenden (für Schwingungskavitation sekundären) Schallfeld mit breitem Frequenzband und geringer Reichweite die Ursache von Kavitationswirkungen an Bakterien zu suchen sei.

Wenn diese Auffassung richtig ist, muß erwartet werden, daß die Implosionsphase allein, ohne vorhergehenden, zum

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 1. Strept. cremoris unbehandelt, etwa 1:800.

Fig. 2. Strept. cremoris nach 5 min Dampfinjektion, etwa 1:400.

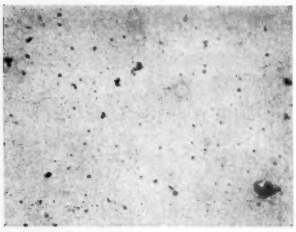


Fig. 3.

Fig. 4.

Fig. 3. Strept. cremoris nach 15 min Dampfinjektion, etwa 1:850.

Fig. 4. Ps. fluorescens nach 15 min Dampfinjektion. 1:3800 (E. opt.).

Einsetzen der Kavitation erforderlichen Unterdruck der Schwingung oder Strömung, ähnliche Effekte bewirken kann. Nach diesen Überlegungen haben wir durch einfache Wasserdampfinjektion in Bakteriensuspensionen die Implosionsphase der Kavitation dargestellt mit dem Ergebnis, daß Wuchsverbände zerrissen und Zellen mechanisch zerstört wurden (Fig. 1—4). Die auf der Fig. 4 sichtbare Zerstörung dürfte von einer in unmittelbarer Nähe stattgefundenen Implosion herrühren.

Durch geeignete Kühlung (Versuchstemperatur 25 bis 30° C) war Sorge dafür getragen, daß keine allgemeinen Wärmeeffekte eintraten. Darüber hinaus war in Kontrollversuchen festgestellt worden, daß selbst bei vielfachem und längerem Aufkochen der Suspensionen keine der durch Dampfinjektion erzielten Veränderungen herbeigeführt werden konnte.

Diese Ergebnisse sind auch im Hinblick auf die Uperisation interessant, womit ein neues Verfahren zur Entkeimung von Milch und anderen Flüssigkeiten bezeichnet wird[6]). Dabei wird die Flüssigkeit ganz kurzzeitig (0,5 bis 0,75 sec) mit injiziertem Dampf auf etwa 150° C aufgeheizt und anschließend durch Expansion abgekühlt. Das Verfahren beruht auf der Annahme, daß die Abtötung von Mikroorganismen einen wesentlich höheren Temperaturkoeffizienten als die durch Erhitzung ausgelösten Qualitätsveränderungen hat.

Unsere Versuchsergebnisse zeigen, daß bei Kondensationsvorgängen nach Dampfinjektion in Flüssigkeiten durch die mechanischen Schwingungen des dabei entstehenden vielgestaltigen Schallfeldes tiefgreifende Wirkungen auf Mikroorganismen auch dann entstehen, wenn die Vorgänge sich unterhalb der biologisch wirksamen Abtötungstemperatur abspielen. Damit sind die Ergebnisse eine Bestätigung für unseren Deutungsversuch bezüglich der Kavitationswirkungen an Bakterien[5]).

Bakteriologisches Institut der Bundes-Versuchs- und Forschungsanstalt für Milchwirtschaft Kiel (Direktor: Professor Dr. Dr. A. Lembke).

A. Lembke und H. Gantz.

Eingegangen am 28. April 1953.

[1]) Auerbach, R.: Kolloid-Z. **118**, 114 (1950).
[2]) Schmid, G., G. Paret u. H. Pfleiderer: Kolloid-Z. **124**, 150 (1950). — Prudhomme, R. O., u. P. Grabar: J. Chim. physique **46**, 667 (1949). — Rust, H. H.: Angew. Chem. **64**, 162 (1952). — Möckel, P.: Chem.-Ing.-Techn. **24**, 153 (1952).
[3]) Nowotny: Werkstoffzerstörung durch Kavitation. Berlin 1942.
[4]) Eck, B.: Technische Strömungslehre. Berlin 1941.
[5]) Lembke, A., u. H. Gantz: Naturwiss. **39**, 554 (1952). — Kieler milchwirtsch. Forsch.-B. **5**, 11 (1953).
[6]) Haerry, P.: Chem. Rdsch. [Schweiz] **5**, Nr 22 (1952). — Mohler, H.: Chimia **6**, 212 (1952). — Brown, Lazar, Wassermann, Smith u. Cole: Ind. Engng. Chem. **43**, 2949 (1951). — Ref.: Chem.-Ing.-Techn. **24**, 516 (1952).

Lichtfilter im Fluoreszenzmikroskop zur Darstellung des Mycobacterium tuberculosis.

In dieser Zeitschrift berichtete vor kurzem H. Kölbel[1]) über ein neues Sperrfilter „GP" für Fluoreszenzmikroskopie

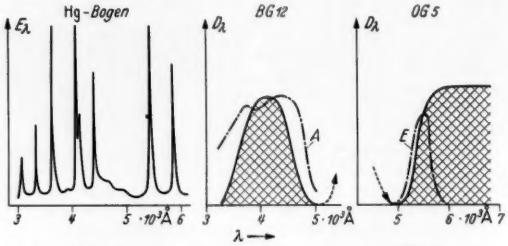


Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3.

Fig. 1. Spektrale Energieverteilung der Emission eines Hg-Höchstdruckbrenners (HBO 200).

Fig. 2. Vergleich von Transmissionskurve des Erregerlichtfilters BG 12 (———) und Absorptionsbereich A (— · —) auramingefärbter Tuberkelbazillen.

Fig. 3. Vergleich von Transmissionskurve des Sperrfilters OG 5 (———) und Emissionsbereich E (— · —) auramingefärbter Tuberkelbazillen.

im Zusammenhang mit einer Kombination von UG 5 und einer etwa 20%igen Kupfersulfatlösung als Erregerlichtfilter bei Benutzung einer Kohlenbogenlampe als Lichtquelle.

Leider geht der Verfasser nicht auf die im Betrieb viel bequemeren und auch gerade im blau- und ultravioletten Bereich viel lichtstärkeren Quecksilber-Höchstdrucklampen ein, wie sie z. B. in der Fluoreszenz-Mikroskopierleuchte von Zeiss-Winkel, Göttingen, und auch in der Einrichtung von Reichert, Wien, seit langem benutzt werden. Gegenüber der Gleichstrombogenlampe mit etwa 18000 Stilb weist z. B. der Quecksilber-Höchstdruckbrenner HBO 200 von OSRAM eine Leistung von 25000 Stilb auf. Die Verwendung einer Kohlenbogenlampe mit all ihren Nachteilen (mechanischer Kohlenführung, schnellem Abbrennen in Verbindung mit ständigem Ersatz der Kohlen, starker Wärmeentwicklung, nötiger Reinigung, Kühlküvette usw.) ist aber gerade für medizinische Routineuntersuchungen unzweckmäßig. Da der Hg-Bogen im Gegensatz zum C-Bogen ein kälteres Spektrum besitzt, sind bei seiner Verwendung keine Kühlküvetten mehr erforderlich. In Verbindung mit einem Hg-Brenner kann man Glasfilter allein zur Einengung des Spektrums benutzen. Dabei hat sich für Blauviolett-Fluoreszenz, wie sie insbesondere zur Untersuchung fluorochromierter Präparate geeignet ist, z. B. zur Darstellung des Mycobacterium tuberculosis, das BG 12-Filter von Schott als Erregerfilter bewährt.

In Verbindung mit diesem Erregerfilter ist allerdings das Filter „GP" nach Kölbel ungeeignet, da dieses Blaulicht durchläßt. In Verbindung mit BG 12 eignen sich nach wie vor als Sperrfilter am besten die OG-Gläser von Schott, z. B. das OG 5 in Dicken von etwa 1 mm. Auch dieses Glas ist

praktisch fluoreszenzfrei. Um jegliche Eigenfluoreszenz auszuschalten, empfiehlt es sich, dasselbe in das Okular von unten einzuschrauben (und nicht auf das Okular aufzustecken).

Bei der Verwendung von OG 5 als Sperrfilter ist also die Möglichkeit gegeben, in Verbindung mit dem BG 12-Glas als Erregerlichtfilter die Fluorochrome im Blau- und Ultraviolett zur Fluoreszenz zu erregen. Diese Farbstoffe (vgl. die Absorptionskurve von nukleinsaurem Auramin in Fig. 2, A) zeigen meist zwei Hauptbanden, und zwar eine im UV und eine weitere im sichtbaren Bereich zwischen 4000 und 5000 Å. Das Erregerlichtfilter UG 5 und $CuSO_4$ nach KÖLBEL hingegen läßt gerade im Absorptionsmaximum fluorochromierter Mycobakterien kein Erregerlicht mehr durch. Da nun eine strenge Beziehung besteht zwischen der Stärke der Absorption von Frequenzen im Resonanzbereich und der Emissionsstärke, ist es jedoch vorteilhaft, möglichst das gesamte Absorptionsgebiet fluoreszierender Objekte auszunutzen. Außerdem leistet im Bereich um 3500 Å, also dort, wo etwa das Optimum der Filterkombination UG 5 und $CuSO_4$ liegt, die von KÖLBEL empfohlene C-Bogenlampe weit weniger als ein Hg-Brenner, wie sich deutlich aus dem Vergleich der entsprechenden spektralen Energieverteilungen ergibt.

Im Gegensatz zur Angabe von KÖLBEL läßt das von mir benutzte OG 5 bei nicht zu starker Dicke des Filterglases das Grün sehr gut durch. Das langwellige Fluoreszenzlicht fluorochromierter Präparate wie z. B. auramingefärbter Tuberkelbazillen (vgl. die Emissionskurve von nukleinsaurem Auramin in Fig. 3, E) wird von der 5000 Å-Grenze ab durchgelassen. Bei geringerer Dicke des Filterglases als 1 mm gelingt es, fluorochromierte Mycobakterien leuchtend gelb auf leicht blau getöntem Untergrund sogar in sehr wirksamem Kontrast fluoroskopisch darzustellen. Hierdurch wird unter anderem einer möglichen Augenermüdung des Beobachters auf einfache Weise begegnet.

Die Figuren illustrieren die Verhältnisse der von mir längere Zeit hindurch erprobten Form der Fluoreszenzeinrichtung von ZEISS-WINKEL für blauvioletterregte Fluoreszenz, wie sie für medizinische Routineuntersuchungen entwickelt wurde.

Eine eingehendere Mitteilung über beobachtbare Fluoreszenzen in Biologie und Medizin erfolgte an anderer Stelle[2]).

Mikrolaboratorium Zeiss-Winkel, Göttingen.

ALOYSIUS KRIEG.

Eingegangen am 8. April 1953.

[1]) KÖLBEL, H.: Naturwiss. **39**, 528 (1952).
[2]) KRIEG, A.: Klin. Wschr. **31**, 350 (1953).

Zur Genetik des LEWIS-Blutgruppensystems.

Kürzlich haben wir[1]) eine Hypothese über die Vererbung des LEWIS-Systems aufgestellt, die drei allelomorphe Gene Le^a, Le^b und Le^c an einem Ort des Chromosomenpaares annimmt. Dabei müßte das hypothetische Gen Le^c sowohl über Le^a und Le^b als auch das Gen Le^b über Le^a dominant sein (Dominanzreihe $Le^c > Le^b > Le^a$). Das Ausscheider-Gen S [SCHIFF und SASAKI[2])] wird in Übereinstimmung mit ANDRESEN und HENNINGSEN[3]) als identisch mit dem Gen Le^b und das Gen s als identisch mit dem Gen Le^a angesehen. Welche Bedeutung dem noch nicht direkt nachweisbaren Gen Le^c für die Ausscheidung von ABH-Substanz zukommt, läßt sich noch nicht überblicken. Es sprechen jedoch Beobachtungen dafür, daß auch die Personen vom Genotyp $Le^c Le^c$ ABH-Substanz ausscheiden. In Tabelle 1 sind unsere Anschauungen über die Serologie und Vererbung des LEWIS-Systems zusammengefaßt.

Tabelle 1.

Phänotyp	ABH-Ausscheidung im Speichel	Vermutlicher Genotyp	Fähigkeit zur Bildung von Antikörpern
Le(a+b—)X+	ss	$Le^a Le^a$	Anti-Le^b
Le(a—b+)X+	sS	$Le^a Le^b$	
	SS	$Le^b Le^b$	Anti-Le^a
Le(a—b—)X—	s	$Le^a Le^c$	Anti-Le^b
	S	$Le^b Le^c$	Anti-Le^a
	S?	$Le^c Le^c$	Anti-Le^a und Anti-Le^b (Anti-X)

Während der Drucklegung unserer oben kurz referierten Arbeit erhielten wir Kenntnis von der Veröffentlichung von GRUBB[4]), die sich mit dem gleichen Thema befaßt. Auf Grund seiner Ergebnisse, die sich hauptsächlich auf Speicheluntersuchungen stützen, kommt der Autor zu einer Hypothese über die Genetik des LEWIS-Systems, die zwei allelomorphe Genpaare $Le^a - Le^\alpha$ (hypothetisch) und $Le^b - Le^\beta$ annimmt, wobei $Le^b = S$ und $Le^\beta = s$ sein soll.

Die von GRUBB auf Grund seiner Versuchsergebnisse berechneten Genotyp- und Phänotyphäufigkeiten kommen den beobachteten Häufigkeiten tatsächlich sehr nahe, so daß seine Theorie zunächst bestechend erscheint.

In dem Schema von GRUBB ist allerdings kein Platz für die verschiedentlich[5]), [6]) beobachteten Personen vom Phänotyp Le(a—b—) S und Nichtausscheider von Le^a- sowie Le^b-Substanz, die nach unserer Theorie dem Genotyp $Le^c Le^c$ angehören.

GRUBB lehnt eine Theorie mit drei Allelomorphen an einem Ort ab, da eine Berechnung der Genhäufigkeiten nach seiner Meinung nicht mit der Theorie übereinstimmt. Allerdings hat der Autor die BERNSTEINsche Formel für das ABO-System einfach auf das LEWIS-System übertragen, was nach unserer Theorie nicht möglich ist, und zur Berechnung von Le^c einen zu summarischen Wert benutzt:

$$\text{Genhäufigkeit } Le^a = 1 - \sqrt{0{,}015 + 0{,}083} = 0{,}6870$$
$$\text{Genhäufigkeit } Le^b = 1 - \sqrt{0{,}015 + 0{,}187} = 0{,}5506$$
$$\text{Genhäufigkeit } Le^c = \sqrt{0{,}015} = 0{,}1225$$
$$\text{Genhäufigkeit } Le^a + Le^b + Le^c = 1{,}3601$$

Unter Zugrundelegung der Versuchsergebnisse von GRUBB ergibt sich aber nach unserer Theorie folgende Berechnung der Genhäufigkeiten:

$$\text{Genhäufigkeit } Le^a = \sqrt{0{,}187} = 0{,}4324$$
$$\text{Genhäufigkeit } Le^b = 1 - \sqrt{0{,}187} - \sqrt{0{,}002} = 0{,}5229$$
$$\text{Genhäufigkeit } Le^c = \sqrt{0{,}002} = 0{,}0447$$
$$\text{Genhäufigkeit } Le^a + Le^b + Le^c = 1{,}0000.$$

Die auf Grund dieser Genhäufigkeiten errechneten Genotyphäufigkeiten sind in Tabelle 2 aufgeführt und den berechneten sowie beobachteten Phänotyphäufigkeiten gegenübergestellt.

Wie die Tabelle 2 zeigt, liegen die erwarteten Phänotyphäufigkeiten völlig im Bereich der von den verschiedenen Autoren beobachteten Häufigkeiten des LEWIS-Systems.

Tabelle 2.

Genotyp	Erwartete Häufigkeit	Phänotyp	Erwartete Häufigkeit	Beobachtete Häufigkeiten nach [7])	nach [8])	nach [4])
$Le^a Le^a$	0,1870	Le(a+b—)	18,7 %	19,3 %	18,0 %	18,7 %
$Le^a Le^b$	0,4522	Le(a—b+)	72,6 %	74,8 %	72,0 %	71,2 %
$Le^b Le^b$	0,2734					
$Le^a Le^c$	0,0387	Le(a—b—)	8,7 %	5,9 %	10,0 %	10,6 %
$Le^b Le^c$	0,0467					
$Le^c Le^c$	0,0020					

Zur weiteren Erhärtung unserer Hypothese sind in Tabelle 3 die berechneten und beobachteten Phänotyphäufigkeiten der Kinder bei Familienuntersuchungen zusammengestellt. Das Zahlenmaterial wurde von GRUBB übernommen.

Tabelle 3.

Ehen		Kinder					χ^2 *)
Type	Anzahl	Anzahl insges.	Le(a+) ber.	Le(a+) beob.	Le(a—) ber.	Le(a—) beob.	
Le(a+) × Le(a+)	9	27	27,0	27	—	—	—
Le(a+) × Le(a—)	62	150	45,3	50	104,7	100	0,7
Le(a—) × Le(a—)	78	179	16,3	20	162,7	159	0,9

*) Für 1 Freiheitsgrad.

Wie der Wert von χ^2 zeigt, stimmen die Beobachtungen mit der Berechnung auf Grund unserer Theorie in befriedigender Weise überein.

Somit kann gezeigt werden, daß im Gegensatz zu den Ausführungen von GRUBB eine Vererbung des LEWIS-Blutgruppensystems auf Grund dreier allelomorpher Gene Le^a, Le^b und Le^c durchaus möglich erscheint. Eine endgültige Entscheidung wird allerdings erst nach der Auffindung des sicher äußerst seltenen Anti-Le^c-Serums zu treffen sein.

Herrn Dr. W. HARM, Berlin, bin ich für seine wertvollen Hinweise zu Dank verpflichtet.

Robert Koch-Institut Berlin, Abteilung für Serologie und Diagnostik (Direktor: Prof. Dr. G. BLUMENTHAL).

H. J. PETTENKOFER.

Eingegangen am 25. April 1953.

[1]) PETTENKOFER, H. J.: Z. Immun.forsch. **110**, 217 (1953).
[2]) SCHIFF, F., u. H. SASAKI: Klin. Wschr. **1932**, 1426.
[3]) ANDRESEN, P. H., u. K. HENNINGSEN: Acta haematol. (Basel) **5**, 123 (1951).
[4]) GRUBB, R.: Acta path. scand. [København.] **28**, 61 (1951).
[5]) MORGAN, W. T. J.: Nature [London] **166**, 300 (1950).
[6]) PETTENKOFER, H. J., u. H. HOFFBAUER: Zbl. Bakter. I Orig. **159**, 234 (1953).
[7]) ANDRESEN, P. H.: Acta path. scand. [København.] **25**, 728 (1948).
[8]) ANDRESEN, P. H., A. ANDERSEN, K. JORDAL u. K. HENNINGSEN: Rev. d'Hématol. **5**, 305 (1950).

Die Kopulation von Blaniulus guttulatus (Diplopodae).

Obwohl *Blaniulus guttulatus* als Schädling des Gartenbaus in der Literatur bereits vielfach diskutiert wurde, ist über seine Paarungsbiologie nichts Genaues bekannt. Nur unklare Vorstellungen hatten FABRE[1]) und VOM RATH[2]).

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 1 und 2. Beginn des Liebesspiels mit Bildung von schleifenförmigen Figuren.

Fig. 3.

Fig. 4.

Fig. 3. Das ♂ kreist das ♀ ein.

Fig. 4. Stellung des ♂ während der Übernahme des Spermas vom Penis auf das Gonopoden-Mittelblatt. *P.* = Penis; *G. M.* = Gonopoden-Mittelblatt.

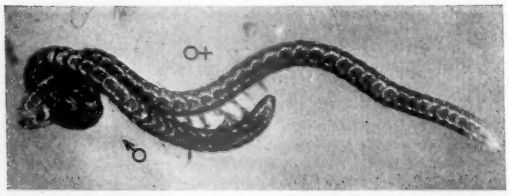


Fig. 5. Typische Paarungsstellung des Blaniulus guttulatus. Nur die Vorderkörper sind eng verknotet, während die Abdomina willkürlich gelagert sind.

Geschlechtsreife Tiere lassen sich in der Gefangenschaft über die natürliche Paarungszeit hinaus (Frühjahr und Herbst) zur Kopulationsbereitschaft bringen. Die Geschlechtspartner finden sich mit Hilfe des Geruchsinnes. Die Erregung wird thigmotaktisch gesteigert. Die schlangenartige Beweglichkeit des Körpers führt zu schleifenförmigen Figuren, welche die Berührungsflächen der beiden Partner vergrößern (Fig. 1 und 2). Diese Figuren können je nach Lage der umgebenden Bodenkrumen variieren. Oft findet man auch beide Partner eng nebeneinander, einen Kreis beschreibend (Fig. 3). Dieses Liebesspiel dauert etwa 30 min. Ist eine bestimmte Erregungsstärke erreicht, so zieht das ♂ die Schleifen enger. Die Bewegungen verlangsamen sich. Das ♂ rollt den Vorderkörper ein und übernimmt so das Sperma vom Penis auf das Gonopoden-Mittelblatt (Fig. 4). Stört man das Tier in dieser Phase, so kann man das Sperma auf dem Gonopoden-Mittelblatt mikroskopisch nachweisen. Für die Paarungsstellung ist die „*Verknotung*" der vorderen Segmente typisch (Fig. 5). Die längeren Abdomina von ♂ und ♀ liegen, je nach begrenzender Umgebung, in beliebiger Richtung sowohl in der Horizontalen als auch in der Vertikalen auseinander. Nach Fixierung dieses Stadiums lassen sich bei sorgfältiger Präparation folgende Einzelheiten feststellen: Das Sperma liegt in der rinnenförmigen Vertiefung des Gonopoden-Mittelblattes. Die hinteren, mit geweihartigen Fortsätzen ausgestatteten Gonopoden dienen als Umklammerungsorgane. Die vorderen Gonopoden schieben das Sperma in die Vulven, wobei ihr ungegliederter Bau sowie die langen Haare an ihrem Endteil von Vorteil sind. Die Begattung dauert etwa 10 bis 20 min und kann nach etwa 1 Std wiederholt werden.

Zusammenfassend wäre zu sagen, daß die Kopulationsstellung von *Blaniulus guttulatus* grundsätzlich anders ist als die bisher bekannten Paarungen systematisch nahestehender Diplopoden, die mit ihren Ventralseiten zusammengelagert sind und deren Laufbeine als Umklammerungsorgane dienen.

Eine ausführliche Beschreibung der Vorgänge mit weiteren Beiträgen zur Biologie von *Blaniulus guttulatus* wird an anderer Stelle erfolgen.

Zoologisches Institut der Universität Mainz.

HEINZJOACHIM KINKEL.

Eingegangen am 21. April 1953.

[1]) FABRE, L.: Ann. Sci. natur. (4) **3**, 257 (1855).
[2]) VOM RATH, O.: Ber. naturforsch. Ges. Freiburg **5**, 1 (1891).

Zum „Farbensinn" einiger Bufoniden.

Über den Farbensinn der Kröten liegen bisher zwei sich in ihren Ergebnissen widersprechende Arbeiten vor. SCHÜTZLER[1]) nimmt nach Dressurversuchen mit sukzessiver und simultaner Farbenwahl bei *Bufo bufo* Grünblindheit und eine — allerdings schwache — Farbentüchtigkeit für Rot, Gelb und Blau an. Die Gültigkeit dieser Befunde wird aber von HONJO[2]) bestritten, da SCHÜTZLER bei der Sukzessivdressur nie die Farbe allein anbot und bei der simultanen Farbenwahl die durch das Helligkeitssehen gesteuerte Dunkeltendenz zugrunde legte.

Im Gegensatz zu SCHÜTZLER fand BIRUKOW[3]) bei der optomotorischen Prüfung von *Bufo bufo* und *Bufo calamita* totale Farbenblindheit und konnte auch mit der von v. BUDDENBROCK und FRIEDRICH[4]) erstmals angewandten Kombination zweier helligkeitsgleicher Farben keine positiven Reaktionen erzielen. Der Umstand, daß die Schicht der inneren Körner des Tectum opticum bei den zwar gemischte Netzhäute besitzenden, aber vorwiegend nächtlich lebenden Kröten deutlich schwächer ausgebildet ist als bei optomotorisch farbentüchtigen Amphibien[3]), spricht für die Befunde dieses Autors.

Ich versuchte nun eine Prüfung des Farbensehvermögens durch Dressuren auf farbige Beuteattrappen bei *Bufo bufo*, *Bufo calamita*, *Bufo viridis* und der südamerikanischen *Bufo arenarum*. Die letzten beiden Arten verhielten sich nach meinen Untersuchungen im optomotorischen Funktionskreis ebenfalls farbenblind. Als Beuteattrappen dienten runde Holzstäbchen (4,0 × 0,5 cm)[5]), die ich gleichmäßig mit Farbe oder Grau von verschiedenem Weißprozentgehalt bestrich und zum Schutz gegen Verschmutzung mit Mattlack überzog. Dadurch war auch eine zwar wenig wahrscheinliche, aber immerhin denkbare geruchliche Unterscheidung der einzelnen Attrappen durch die Kröten unmöglich gemacht. Gefärbt wurden die Stäbchen mit den Pelikan-Ölfarben Cadmiumrot 740, Cadmium (gelb) 711, Permanentgrün 832 sowie Kobaltblau 805. Elfenbeinschwarz 852 und Cremserweiß 700 dienten zur Herstellung von 17 verschiedenen Graustufen. Außerdem wurden farbiggrau geringelte Stäbchen (Ringelbreite 0,5 cm) angefertigt, bei denen das Grau die gleiche Helligkeit hatte wie die mit diesem kombinierte Farbe. Bei anderen Attrappen war die Farbe mit einem von dieser im Helligkeitswert stärker abweichenden Grau kombiniert. Die Helligkeiten der einzelnen Farben hatte ich für die Kröten vorher optomotorisch festgestellt. Nach der Methode von EIBL-EIBESFELDT[5]) wurden den gezähmten Tieren die einfarbigen, an einem dünnen Faden mit stets gleicher Geschwindigkeit und in gleicher Richtung vorbeigezogenen Stäbchen so oft geboten, bis sie diese nicht mehr beachteten. Dann

kamen neben den Farbstäbchen, die nun negativen Wert besaßen, graue und geringelte Attrappen in Anwendung. Diese letzteren mußten dementsprechend für die Kröten positive Valenz besitzen, wenn die Tiere die Stäbchen nach der Farbe und nicht nach anderen Merkmalen unterschieden. Bei den Versuchen zeigte sich nun, daß sämtliche untersuchten Arten verschiedene Graustufen mit den einzelnen Farben verwechselten. Nur die sich in der Helligkeit von den betreffenden Farben sehr unterscheidenden Graustufen wurden von den Kröten geschnappt. Die Tiere verwechselten auch die geringelten Stäbchen aus Farbe und gleichhellem Grau mit den betreffenden einfarbigen und gleichmäßig grauen Attrappen, während dies bei den Kombinationen Farbe/ungleiches Grau nicht der Fall war. Abweichungen von diesen Befunden, also „Fehler", fanden sich nur sehr wenige. Damit der Dressurerfolg mehrere Tage hindurch anhielt, zog ich den Kröten nach den ersten Testversuchen die ihnen positiv erscheinenden Attrappen kurz vor dem Zuschnappen schnell fort, da die Tiere andernfalls auch mit diesen zu starke negative Erfahrungen machen mußten. Nach einigen Tagen hatte die Form der Stäbchen negativen Wert bekommen und wurde dann, unbeschadet ihrer Färbung, Helligkeit oder Ringelung, nicht mehr beachtet.

Während der Dressurversuche konnte beobachtet werden, daß einzelne Kröten sich beim Anblick der negativen Attrappe mit einem Vorderbein vom Maulwinkel her über das geschlossene Maul wischten und das Stäbchen dann nicht weiter beachteten. Diese Bewegung ist wohl ebenso wie die bereits beschriebenen Hautpflegereaktionen[5]) als Übersprung[6]) zu werten. Die erwähnten Befunde lassen nur den Schluß zu, daß die betreffenden Krötenarten auch in dem Funktionskreis der hier angewandten Dressurmethode zu einer qualitativen Farbenunterscheidung nicht fähig sind. Damit ist die optomotorisch gefundene Farbenblindheit der untersuchten Krötenarten durch die Dressur bestätigt.

Zoologisches Institut der Universität Mainz.

ERHARD THOMAS.

Eingegangen am 12. Mai 1953.

[1]) SCHÜTZLER, G.: Diss. phil. Fak. Berlin 1933.
[2]) HONJO, I.: Mem. Coll. Sci., Kyoto Imp. Univ., Ser. B **15**, Nr. 2, 208 (1939).
[3]) BIRUKOW, G.: Z. vergl. Physiol. **32**, 348 (1950).
[4]) BUDDENBROCK, W. v., u. H. FRIEDRICH: Z. vergl. Physiol. **19**, 758 (1933).
[5]) EIBL-EIBESFELDT, I.: Behaviour **4**, 1 (1951).
[6]) TINBERGEN, N.: Z. Tierpsychol. **4**, 1 (1940).

Besprechungen.

Lewis, Bernhard, und Günther von Elbe: Combustion, Flames and Explosions of Gases. 2. Aufl. New York: Academic Press Inc. Publishers 1951. XIX, 795 S. u. 355 Fig. $ 13.50.

Dreizehn Jahre nach der ersten Auflage haben die Autoren die zweite Auflage ihres Buches herausgebracht, die praktisch ein neues Werk darstellt. Das wird schon äußerlich sichtbar durch den mehr als verdoppelten Umfang. Der Charakter des Buches hat sich aber nicht geändert. 1938 konnte ein Buch über Verbrennungserscheinungen in Gasen nicht mehr sein als eine Aufzählung der vielfältigen Erscheinungen und der theoretischen Ansätze zum Verständnis einzelner Teilgebiete. Viele dieser Teilgebiete sind in der Zwischenzeit gründlicher erforscht. Neue sind hinzugekommen. Für eine geschlossene Darstellung des ganzen Gebietes unter einem einheitlichen Gesichtspunkt fehlen aber auch heute noch weitgehend die Voraussetzungen. Es verdient hervorgehoben zu werden, daß die Verff. gerade diese Ansätze zum umfassenden theoretischen Verständnis sorgfältig herausgearbeitet haben.

Unter diesen Umständen haben die Verff. auch die Grundeinteilung des Buches belassen. Der erste Teil behandelt die Kinetik der Reaktionen zwischen Brennstoffen und Sauerstoff. Eingehender sind die Reaktionen von Wasserstoff, Kohlenoxyd und Kohlenwasserstoffen behandelt. Auf diesem Gebiet konnten in der Zwischenzeit viele Einzelheiten geklärt und sichergestellt werden. Auffällig ist, daß nur solche Reaktionsmechanismen gebracht werden, die bei verhältnismäßig tiefer Temperatur ablaufen und Reaktionszeiten von mehreren Minuten haben. Alle Mechanismen verwenden eine Wand zum Abbruch der Reaktionsketten. Wenn man vom Anlauf einer Flamme absieht, verlaufen aber die chemischen Reaktionen in Flammen in viel kürzerer Zeit ($< 10^{-3}$ sec). Ganz sicher sind sie rein homogen. Das Buch bringt keinen Hinweis, daß diese Flammenreaktionen wahrscheinlich auf anderen Wegen verlaufen als über die bei tieferen Temperaturen untersuchten Mechanismen. So steht dieser Teil des Buches recht isoliert neben den späteren Teilen, da seine Ergebnisse keine Anwendung finden.

Der zweite Teil, der die Flammenfortpflanzung behandelt, ist der umfangreichste und wichtigste Teil. Zunächst werden die Flammen vorgemischter Gase besprochen. Die Verff. versuchen, alle mit der Ausbildung und Fortpflanzung von Flammen in solchen Gemischen zusammenhängenden Fragen unter dem Gesichtspunkt einer Flammenwelle zu betrachten. Dies bedeutet einen wesentlichen Fortschritt gegenüber älteren Darstellungen. Wenn diese Betrachtungsweise auch mehr ein Programm darstellt als eine ausgearbeitete Theorie, so muß doch das Verdienst der Autoren hervorgehoben werden, eine mögliche einheitliche Theorie aufgezeigt zu haben. Die Mehrzahl der Experimente ist mit laminaren Flammen ausgeführt worden. Das Verständnis der laminaren Flammen ist die Voraussetzung für eine Untersuchung der turbulenten Flammen, die natürlich technisch größere Bedeutung haben. So werden zunächst die Bedingungen untersucht, unter denen eine Flamme stabil brennt. Die Ausführungen basieren weitgehendst auf Experimenten der Autoren selbst. Weitere Abschnitte behandeln die Ausbreitung einer Flamme von einer Zündquelle aus und die Ausbreitung von Flammen in Rohren und geschlossenen Gefäßen. Als sehr fruchtbar hat sich die Einführung des Begriffes „Löschstrecke" erwiesen. Der für viele technische Anwendungen wichtige Sonderfall der stationären Flamme tritt in der Darstellung sehr in den Hintergrund.

Das letzte Kapitel dieses Teiles behandelt Detonationswellen, die ja aus Deflagrationswellen entstehen können. Für diese Wellen liegt eine gut entwickelte Theorie vor, die sich zur Deutung der Experimente bewährt hat.

Der dritte Teil trägt die Überschrift: Zustand des verbrannten Gases. Es werden vor allem die spektroskopischen Grundlagen zur Berechnung thermodynamischer Funktionen gebracht und sodann diese Funktionen zur Berechnung adiabatischer Explosionen in geschlossenen Gefäßen angewendet. Ein weiteres Kapitel behandelt das Problem der Temperaturmessung aus den Strahlungseigenschaften heißer Gase.

Der vierte Teil: Probleme in technischen Verbrennungsprozessen könnte auch als Vorwort vor das ganze Buch gesetzt werden. Er zeigt, weshalb die wissenschaftliche Bearbeitung der Verbrennungsvorgänge so dringend ist. Die Auswertung der in dem Buch geschilderten Experimente für technische Anwendungen steckt aber noch in den ersten Anfängen.

Ein Anhang bringt Tabellen zur Berechnung thermodynamischer Daten, Zündgrenzen und gemessene Flammentemperaturen. Diese Zusammenstellung bietet jedem, der auf diesem Gebiete arbeitet, zuverlässige und willkommene Unterlagen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß das Buch eine sehr gute Zusammenstellung dessen ist, was bekannt ist. Darüber hinaus bringt es eine Fülle von Gesichtspunkten, die für die Weiterentwicklung wichtig sind. Wenn die Auswahl des Stoffes oft eine stark persönliche Note zeigt, so liegt das an dem großen Anteil, den die Verff. und ihre Mitarbeiter an der Bearbeitung des ganzen Problemkreises haben. Gerade diese persönliche Note stärkt die Geschlossenheit der Darstellung, die für ein Gebiet, das so viele offene Fragen aufweist, besonders wertvoll ist. BARTHOLOMÉ (Ludwigshafen).

Eingegangen am 8. März 1952.

Advances in Enzymology and Related Subjects of Biochemistry. Bd. XII, hrsg. v. F. F. NORD. New York: Interscience Publishers, Inc. 1951. XI, 570 S. $ 9.75.

Im Jahre 1951 erschien außer dem planmäßigen Band XI noch ein weiterer Band XII der Advances in Enzymology von noch größerem Umfange mit 9 Beiträgen. Für diese

umfangreiche Bearbeitung wichtigster Gebiete der Biochemie muß man dem Herausgeber und den Autoren dankbar sein. Die ausführlichere Behandlung einzelner Themen in den Advances in Enzymology ist eine sehr wertvolle Ergänzung des Annual Review of Biochemistry in der Berichterstattung über die Entwicklung der Biochemie.

ROBERT HILL (Cambridge) behandelt in seinem Beitrag „Oxydoreduktionen in Chloroplasten" (39 S.) die Chloroplastenreaktion, die durch Belichtung von Chloroplasten oder von Chloroplasten-Granula bei Anwesenheit eines geeigneten Wasserstoffakzeptors molekularen Sauerstoff liefert. M. F. UTTER und H. G. WOOD (Cleveland) geben eine sehr ausführliche und übersichtliche Darstellung des „Mechanismus der Fixierung von Kohlendioxyd durch Heterotrophe und Autotrophe" (110 S.). Nach den verschiedenen bisher bekannten Reaktionen der β- und α-Carboxylierung wird die Fixierung von Kohlendioxyd in benachbarten C-Atomen bei der Essigsäuresynthese und der Photosynthese beschrieben. B. CHANCE (Philadelphia) berichtet unter dem Titel „Enzym-Substrat-Verbindungen" (37 S.) über die Kinetik der Bildung von Wasserstoffperoxyd-Katalase- und Wasserstoffperoxyd-Peroxydase-Verbindungen sowie die Kinetik der Reaktion dieser Verbindungen mit Wasserstoffdonatoren. Die erfolgreiche Untersuchung der schnellsten bisher gemessenen biochemischen Reaktionen hat außerordentlich wichtige Erkenntnisse in der Enzymkinetik geliefert.

E. L. SMITH (Salt Lake City) untersucht, welche Schlüsse auf Ort und Art der Bindungen zwischen Enzym und Substrat aus der „Spezifität einiger Peptidasen" (66 S.) gezogen werden können. D. NACHMANSOHN und J. B. WILSON (New York) beschreiben „die enzymische Hydrolyse und Synthese von Acetylcholin" (80 S.) und erörtern die Beziehungen dieser Reaktionen zur Reizleitung und -übertragung eingehend. K. H. MEYER und G. C. GIBBONS (Genf und Manchester) geben einen Überblick über den „gegenwärtigen Stand der Stärke-Chemie" (36 S.), der mit Ausnahme eines kurzen Kapitels über Glykogen auf die natürliche Stärke beschränkt ist. P. BERNFELD (Boston, Mass.) stellt für die „Enzyme des Abbaus und der Synthese von Stärke" (49 S.), insbesondere die gereinigten Amylasen und Transglucosidasen, die verfügbaren Daten über physikalisch-chemische Eigenschaften und enzymische Wirkung zusammen. F. CHALLENGER (Leeds) behandelt die „Biologische Methylierung" (62 S.) in einer Übersicht des Fortschritts der Erkenntnis von der Entdeckung der Bildung von Trimethylarsin durch Scopulariopsis brevicaulis bis zur Erkennung der biologischen Bedeutung der Thetine. Den Abschluß des Bandes bildet ein Beitrag von C. A. ZITTLE (Philadelphia) über „Reaktionen des Borats mit Substanzen von biologischem Interesse" (34 S.). Neben der Reaktion des Borats mit einfachen Verbindungen, die zwei benachbarte Hydroxylgruppen in cis-Stellung enthalten, werden die Reaktionen mit Polysacchariden (Blutgruppensubstanzen), Coenzymen und Enzymen behandelt.

M. KIESE (Marburg a. d. Lahn).

Eingegangen am 15. Februar 1952.

Fabry, Richard: Bodenkunde für Schule und Praxis. 2. neu bearb. Aufl., hrsg. v. JOSEF L. LUTZ. München: Carl Hanser 1950. 258 S., 1 Farbtafel u. 36 Abb. DM 12.—.

Das vorliegende Buch ist in erster Linie für den Gebrauch an Mittel- und Oberschulen gedacht mit dem Ziel, in den heimat- und naturkundlichen Arbeitsgemeinschaften den Schüler zum landwirtschaftlichen Sehen und zu einer ganzheitlichen Betrachtungsweise der standörtlichen Zusammenhänge zu führen, aus der heraus der Boden in seinem Entwicklungs- und Leistungszustand umfassend beurteilt werden kann. Darüber hinaus wendet es sich auch an den Praktiker, der in seiner Berufstätigkeit als Land- oder Forstwirt, Siedler, Gärtner, Bauingenieur und Landschaftsgestalter irgendwie mit dem Boden zu tun hat. Für die Landwirtschaftsschulen ist das Buch in der Hand des Leiters einer bodenkundlichen Arbeitsgemeinschaft oder auch im Unterricht ein besonders wertvolles Lehr- und Nachschlagebuch. Die Gliederung ist ganz auf die Belange der Schule bzw. der Praxis abgestellt. In den ersten drei Abschnitten wird der Leser einführend mit den bodenkundlich wichtigsten Begriffen vertraut gemacht. Eine Zusammenstellung der Begriffe ist weiterhin am Schluß des Buches ergänzend beigefügt, so daß auch dem mit der Bodenkunde weniger Vertrauten ein rasches Eindringen in das umfangreiche Stoffgebiet ermöglicht wird. In den Abschnitten 4 bis 8 gelangen die Bestimmungen der bodenbildenden Faktoren Klima, geologischer Untergrund, Vegetation, Relief und hydrologische Verhältnisse im Boden sowie die Bodeneigenschaften in physikalisch-chemischer und biologischer Hinsicht in anschaulicher und durch zahlreiche Abbildungen gut illustrierter Weise zur Darstellung. Dabei werden die pflanzenökologischen Einflüsse auf die Bodenbildung und die wichtigsten Pflanzengesellschaften als Boden- und Standortszeiger eingehend behandelt. Im letzten Abschnitt findet sich eine kurze Anleitung zur einfachen Untersuchung und Beurteilung der Böden. Eine geologische Zeittafel, Verzeichnis der Abkürzungen sowie ein Schriften- und Sachverzeichnis sind im Anhang beigefügt. Nach dem Tod von Dr. FABRY wurde die vorliegende zweite Auflage durch Herrn Dr. LUTZ mit Rücksicht auf das inzwischen fertiggestellte Ergänzungswerk „Bodenuntersuchung im Gelände" umgearbeitet und in erfreulicher Weise noch mit manchem für den Praktiker Wissenswerten ergänzt. Das Buch darf allen Freunden der Bodenkunde, die keine eingehende wissenschaftliche Behandlung des Stoffes, dagegen eine übersichtliche und entsprechende Einführung erwarten, als anregendes und in seiner ganzheitlichen Betrachtungsweise lesenswertes Werk empfohlen werden. SCHEFFER (Göttingen).

Eingegangen am 8. März 1952.

Ebbecke, Ulrich: Johannes Müller, der große rheinische Physiologe. Hannover: Schmorl & von Seefeld 1951. 191 S. DM 8.50.

Zum 150. Geburtstag des großen Physiologen hat uns ULRICH EBBECKE, der Bonner Physiologe, ein Büchlein geschenkt, das nicht nur die Beachtung der Physiologen verdient. Kaum ein anderer Autor wäre geeigneter gewesen, in dieser Zeit an den Menschen und das Werk, an den Lehrer eines HELMHOLTZ, CARL LUDWIG, DU BOIS REYMOND, VIRCHOW und vieler anderer bedeutender Naturforscher und Ärzte zu erinnern, als eben ULRICH EBBECKE. Es sind nicht die örtlichen Beziehungen Bonns zu JOHANNES MÜLLER, sondern das besondere Verständnis, welches der Autor durch seine eigene Einstellung zur Erforschung des Lebendigen mitbringt, die ihn sozusagen für Schaffung dieses aufschlußreichen und liebenswürdigen Büchleins besonders prädestinierten.

Dem Neudruck der JOHANNES MÜLLERschen Schrift „Über die phantastischen Gesichtserscheinungen", welche die zweite Hälfte des Bandes einnimmt, ist eine Einführung vorangestellt, welche die Lektüre dieser Abhandlung über die subjektiven optischen Lebenserscheinungen erleichtert und reizvoll macht. F. H. REIN (Göttingen).

Eingegangen am 11. März 1952.

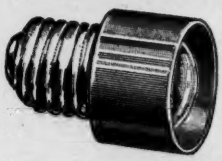
Berichtigung

zu der Kurzen Originalmitteilung „Sur la possibilité d'un nouveau modèle statique de cosmologie" von R. L. BRAHMACHARY [Naturwiss. **40**, 51 (1953)]:

1. Auf S. 51, linke Spalte, Zeile 9, heißt die rechte Seite der 3. Gleichung: „$-e^{-\lambda}$ ... etc."
2. S. 51, linke Spalte, 2. Gleichung von unten: Es soll nicht heißen $8\pi t_1^1 = 4\pi\varepsilon^2/r^4$, sondern „$8\pi t_1^1 = 4\pi\varepsilon^2 r^2$. Cela changera les valeurs suivantes qui en dépendent".
3. Rechte Spalte, Zeile 4, soll heißen: „d'où on peut calculer E'_ν et E_ν. Notre élément linéaire ..."
4. Die Bezugsnummern der beiden Zitate sind zu vertauschen.

Verantwortlich für den Textteil: Prof. Dr. Ernst Lamla, Göttingen. — Springer-Verlag, Berlin · Göttingen · Heidelberg.
Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz AG., Würzburg.

CdS-Kristallzellen



Die neue hochempfindliche Widerstandszelle für Strahlungsmessungen im sichtbaren, UV- u. Röntgengebiet für α-, β- u. γ-Strahlen

Verlangen Sie unsere Liste 1/K

DR. B. LANGE

Berlin-Zehlendorf · Hermannstraße 14—18
Telefon Nr. 84 81 22 · Telegr.-Adr.: Photozelle

DR. B. LANGE BERLIN

Ergebnisse der angewandten Mathematik

Unter Mitwirkung der Schriftleitung des „Zentralblatt für Mathematik" herausgegeben von Professor Dr. **F. Lösch,** Stuttgart.

Erstes Heft: **Die praktische Behandlung von Integral-Gleichungen**

Von Dr. habil. **H. Bückner,** Berlin. Mit 1 Textabbildung. VI, 127 Seiten. 1952. DM 18.60

Inhaltsübersicht: **I. Formeln und Sätze aus der Theorie der Fredholmschen Integralgleichungen:** Fredholmsche Integralgleichungen, Systeme und gemischte Gleichungen, Integraloperatoren. Der reziproke Kern und die Fredholmschen Formeln. Orthogonale und biorthogonale Systeme von Funktionen: die Nullstellen der Fredholmschen Determinante. Spezielle Integraloperatoren. Zusammengesetzte Operatoren. — **II. Die Berechnung von Eigenwerten mit Hilfe von Formeln und Variationsprinzipien. Einschließungssätze:** Berechnung der Eigenwerte aus der Fredholmschen Determinante. Die Potenzsummen der reziproken Eigenwerte. Extremaleigenschaften der Eigenwerte eines Hermiteschen Kerns. 1. Einschließungssatz. Extremaleigenschaften rational transformierter Eigenwerte Hermitescher Integraloperatoren und allgemeine Einschließungssätze. Dreigliedrige Einschließungspolynome. Verträgliche Spektra. — **III. Iterationsverfahren:** Asymptotisches Gesetz der klassischen Iteration. Der Begriff der Beteiligung. Anwendung des klassischen Iterationsverfahrens auf die inhomogene Integralgleichung. Die Berechnung des 1. Eigenwertes eines beliebigen Kerns für den Fall $|\lambda_1| < |\lambda_2|$. Berechnung des 1. Eigenwertes beim Hermiteschen Kern. Die Berechnung der höheren Eigenwerte aus Iterationsfolgen, an deren Ausgangsfunktion λ_1 beteiligt ist. Die Abspaltung von Eigenwerten. Beispiele zum Abspaltungssatz für Integraloperatoren. Gemischte Iteration für die inhomogene Integralgleichung. Berechnung von Eigenwerten und Eigenfunktionen nach der gemischten Iteration. Ein stets anwendbares Iterationsverfahren. Gebrochen lineare Iteration. Quadratisch konvergente Iteration. — **IV. Ersatz des Kernes und der Störfunktion:** Die Abschätzungen von Tricomi. Abschätzungen für die Änderungen, die die Eigenwerte Hermitescher Kerne erfahren. Abschätzung der Änderung von Eigenfunktionen. Konvergenzsätze. Analytische Störungsrechnung für Hermitesche Kerne. Existenzsätze. Anwendung der Störungsrechnung. Der ungestörte Eigenwert ist einfach. Abschätzungen für die Störung beim einfachen Eigenwert. Störung eines mehrfachen Eigenwerts. Störungstheorie der inhomogenen Integralgleichung. Ersatz durch entartete Kerne. Das Variationsproblem von E. Schmidt für den entarteten Ersatzkern. Die Eigenfunktionen werden durch Linearkombinationen gegebener Funktionen approximiert. Die Lösung der inhomogenen Integralgleichung wird durch eine Linearkombination gegebener Funktionen approximiert. $K^*(s,t) = K(s,t)$ für ein Punktgitter. Die Analogiemethoden. Konvergenzbetrachtungen zu den Analogiemethoden. Formale Analogie zur Störungsrechnung. Anwendung der Konvergenzaussagen. — **V. Spezielle Kerne:** Kerne $K(s,t)$ mit verschiedenen Bildungsgesetzen in den Bereichen $s \leq t$ und $s > t$. Die Volterrasche Integralgleichung vom Faltungstyp. Kerne, die sich physikalisch-technisch realisieren lassen. — Literaturverzeichnis.

Zweites Heft: **Die konfluente hypergeometrische Funktion**

Mit besonderer Berücksichtigung ihrer Anwendungen.

Von **Herbert Buchholz,** a. pl. Professor an der Technischen Hochschule Darmstadt, wissenschaftlicher Mitarbeiter und Referent beim fernmeldetechnischen Zentralamt der Deutschen Bundespost. Mit 9 Textabbildungen. XVI, 234 Seiten. 1953. DM 36.—

Inhaltsübersicht: **I. Die Differentialgleichung der konfluenten hypergeometrischen Funktion in ihren verschiedenen Formen und die Definitionen der sie lösenden Funktionen:** Die Kummersche Differentialgleichung und ihre Lösungen. Die Whittakersche Differentialgleichung und ihre Lösungen. Verwandte Differentialgleichungen. Die Funktionen des parabolischen Zylinders. Höhere Ableitungen. Die Funktionen des Drehparabols und des parabolischen Zylinders als Partikularintegrale der Wellengleichung in den entsprechenden Koordinaten. — **II. Allgemeine Integraldarstellungen für die parabolischen Funktionen selbst und ihre Produkte:** Integraldarstellungen für die einfachen parabolischen Funktionen. Integraldarstellungen für die Produkte aus zwei parabolischen Funktionen. — **III. Die Asymptotik der parabolischen Funktionen:** Die Asymptotik bei großen Werten von z oder μ oder $\varkappa$. Die Asymptotik bei großen Werten von z und $\varkappa$. — **IV. Unbestimmte und bestimmte Integrale mit parabolischen Funktionen und einige unendliche Reihen:** Unbestimmte Integrale mit parabolischen Funktionen. Die Laplace-Transformierte der parabolischen Funktionen. Verschiedene weitere Integrale mit parabolischen Funktionen und einige unendliche Reihen. — **V. Die den parabolischen Funktionen zugehörenden Polynome und unendliche Reihen mit diesen Polynomen:** Reihen und Integrale mit Laguerre-Polynomen. Reihen und Integrale mit Hermite-Polynomen. Weitere besondere Polynome und Funktionen. — **VI. Die Parameterintegrale in den Beziehungen für die verschiedenen Wellentypen der mathematischen Physik in den parabolischen Koordinaten:** Integrale über den vorderen Parameter von zwei und vier parabolischen Funktionen. Die Integraldarstellungen für die verschiedenen Wellentypen der mathematischen Physik. — **VII. Nullstellen und Eigenwerte:** Die Nullstellen der Funktion $M\varkappa, \mu/2(z)$. Eigenwertprobleme mit parabolischen Funktionen. — **Anhang, Schrifttums- und Sachverzeichnis.**

Die Bezieher des „Zentralblatt für Mathematik" erhalten die „Ergebnisse der angewandten Mathematik" zu einem gegenüber dem Ladenpreis um 10% ermäßigten Vorzugspreis.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Die Grundlehren der mathematischen Wissenschaften

in Einzeldarstellungen mit besonderer Berücksichtigung der Anwendungsgebiete

Herausgegeben von

R. Grammel · E. Hopf · H. Hopf · F. Rellich · F. K. Schmidt · B. L. van der Waerden

Es liegen vor:

Band II: **Theorie und Anwendung der unendlichen Reihen.** Von Dr. Konrad Knopp, o. Professor der Mathematik an der Universität Tübingen. Vierte Auflage. Mit 14 Textfiguren. XII, 583 Seiten. 1947. DM 39.60

Band IV: **Die mathematischen Hilfsmittel des Physikers.** Von Dr. Erwin Madelung, o. Professor der theoretischen Physik an der Universität Frankfurt a. M. Vierte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 29 Textabbildungen. XX, 531 Seiten. 1950. Ganzleinen DM 49.70

Band XXVII: **Grundzüge der theoretischen Logik.** Von D. Hilbert † und W. Ackermann, Lüdenscheid. Dritte, verbesserte Auflage. VIII, 155 Seiten. 1949. DM 16.50; Ganzleinen DM 19.80

Band XXXIII: **Moderne Algebra.** Von Dr. B. L. van der Waerden, Professor der Mathematik an der Universität Amsterdam. Unter Benutzung von Vorlesungen von E. Artin und E. Noether. Erster Teil. Dritte, verbesserte Auflage. VIII, 292 Seiten. 1950. DM 24.—; Ganzleinen DM 27.—

Band LII: **Formeln und Sätze für die speziellen Funktionen der mathematischen Physik.** Von Dr. Wilhelm Magnus, Professor der Mathematik an der Universität Göttingen, und Dr. Fritz Oberhettinger, Dozent für Mathematik an der Universität Mainz. Zweite Auflage. VIII, 230 Seiten. 1948. DM 24.60

Band LIII: **Rechenmethoden der Quantentheorie, dargestellt in Aufgaben und Lösungen.** 1. Teil: Elementare Quantenmechanik. Von Dr. Siegfried Flügge, o. Professor an der Universität Marburg unter Mitarbeit von Dr. Hans Marschall, Privatdozent an der Universität Marburg. Zweite völlig neubearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 30 Abbildungen. VIII, 272 Seiten. 1952. DM 29.80; Ganzleinen DM 32.80

Band LV: **Anwendung der elliptischen Funktionen in Physik und Technik.** Von Dr. Fritz Oberhettinger, Dozent für Mathematik an der Universität Mainz, und Dr. Wilhelm Magnus, Professor der Mathematik an der Universität Göttingen. Mit 54 Abbildungen. VII, 126 Seiten. 1949. DM 15.60; Ganzleinen DM 18.30

Band LVI: **Die Entwicklung der Infinitesimalrechnung.** Eine Einleitung in die Infinitesimalrechnung nach der genetischen Methode. Von Otto Toeplitz. 1. Band: Aus dem Nachlaß herausgegeben von Dr. Gottfried Köthe, Professor der Mathematik an der Universität Mainz. Mit 148 Abbildungen. IX, 181 Seiten. 1949. DM 19.60; Ganzleinen DM 22.60

Band LVII: **Theoretische Mechanik.** Eine einheitliche Einführung in die gesamte Mechanik. Von Dr. phil. Georg Hamel, o. Professor an der Technischen Universität Berlin-Charlottenburg, o. Mitglied der Deutschen Akademie der Wissenschaften. Mit 161 Abbildungen. XVI, 796 Seiten. 1949. DM 63.—; Ganzleinen DM 66.—

Band LVIII: **Einführung in die Differentialgeometrie.** Von Wilhelm Blaschke. Mit 57 Abbildungen. VII, 146 Seiten. 1950. DM 16.—; Ganzleinen DM 18.60

Band LIX: **Vorlesungen über Zahlentheorie.** Von Helmut Hasse, o. Professor an der Humboldt-Universität Berlin. Mit 28 Abbildungen. XII, 474 Seiten. 1950. DM 42.—; Ganzleinen DM 45.—

Band LX: **Numerische Behandlung von Differentialgleichungen.** Von Dr. Lothar Collatz, o. Professor an der Technischen Hochschule in Hannover. Mit 110 Abbildungen und 1 Porträt. XIII, 458 Seiten. 1951. DM 45.—; Ganzleinen DM 48.—

Band LXI: **Fastperiodische Funktionen.** Von Wilhelm Maak, Professor an der Universität Hamburg. VIII, 240 Seiten. 1950. DM 21.60; Ganzleinen DM 24.60

Band LXII: **Anfangswertprobleme bei partiellen Differentialgleichungen.** Von Dr. Robert Sauer, o. Professor für Mathematik und analytische Mechanik an der Technischen Hochschule München. Mit 63 Abbildungen. XIV, 229 Seiten. 1952. DM 26.—; Ganzleinen DM 29.—

Band LXIII: **Quadratische Formen und orthogonale Gruppen.** Von Dr. sc. nat. Martin Eichler, Professor an der Universität Münster i. Westf. XII, 220 Seiten. 1952. DM 24.60; Ganzleinen DM 27.60

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Professor Dr. Ernst Lamla, Göttingen. — Verantwortlich für den Anzeigenteil: Günter Holtz, Berlin W 35, Reichpietschufer 20. — Springer-Verlag, Berlin - Göttingen - Heidelberg. — Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz AG., Würzburg. — Printed in Germany.